teses que a fundamentaram originalmente. Alguns destes autores encontram mesmo condições de aplicabilidade diferentes das propostas originalmente por Michaud.

Seguidamente, faz-se uma breve revisão das condições de validade que têm sido propostas para esta fórmula polivalente.

No caso de se admitir uma variação linear de velocidade junto ao obturador, durante uma manobra de duração T superior ou igual a 2 L/c e na ausência de perdas de carga, o valor exacto da variação máxima de pressão coincide com o dado pela fórmula de Michaud, resultado que se obtém facilmente pelo método gráfico de Schnyder-Bergeron.

Contudo, a condição de variação linear dificilmente se verifica nos casos reais, exigindo, para cada tipo de válvula, leis de fecho complexas. Para o caso de manobras em que a secção livre do escoamento no obturador varia uniformemente com o tempo (manobras uniformes) a hipótese de linearidade será tanto mais válida quanto a sobrepressão for pequena relativamente à pressão estática e o valor do coeficiente de vazão se possa considerar como constante. Tendo por base a teoria de Allievi, De Sparre concluiu ser a variação de pressão inferior à dada pela fórmula de Michaud sempre que essa variação seja inferior a metade da pressão estática **[6]**.

Wood e Jones concluem **[7]**, contudo, que a aplicação da fórmula ao caso de manobras de fechamento de válvulas correntes não é de aconselhar por fornecer valores inferiores aos determinados por via de uma análise mais rigorosa.

As manobras parciais do obturador assumem especial importância no caso de condutas forçadas de circuitos hidroeléctricos munidas de órgãos de regulação. Gariel **[6]**, procedeu a uma análise cuidadosa deste problema tendo admitido uma velocidade constante para o fechamento do órgão regulador, seja qual fosse a abertura inicial do mesmo. A sobrepressão máxima verificar-se-á então para uma manobra de obturação parcial ou total que dure exactamento 2 L/c. Admitindo que o caudal na conduta, em regime permanente, varia proporcionalmente à posição do obturador, a variação de velocidade junto a este e correspondente à manobra crítica atrás referida, terá o valor 2 LVo/cT, sendo T o tempo de fechamento total. Atendendo a que a manobra é rápida, o valor de sobrepressão máxima será 2 ρ LVo/T ou seja o valor da fórmula de Michaud. A lei de fechamento do distribuidor depende, contudo, do tipo de turbina, do tipo de regulador de carga-velocidade e da velocidade de rotação do grupo (caso das turbinas Francis e Kaplan) entre outros factores. Recentemente Lein **[8]** propôs expressões semi-empíricas do tipo

$$\Delta P_M = \beta M/2 \qquad (4)$$

com β função do número específico de rotações da turbina e do tipo de manobra (valor de entre 3,7 e 1,5 para turbinas Pelton e entre 1,35 e 1,45 para turbinas Francis).

Escande **[9]** generalizou o trabalho de Gariel para o caso de a conduta estar munida de uma válvula síncrona localizada junto ao obturador, com leis de fechamento bilineares. Utilizando o método gráfico de análise o autor concluiu que se terá de comparar a fórmula de Michaud com outras mais complexas, que deduz, a fim de se poder determinar qual a que dá valores mais desfavoráveis.

A fórmula de Michaud tem, igualmente, sido proposta para a determinação dos valores das depressões máximas que poderão ocorrer numa conduta elevatória após o corte do fornecimento de energia eléctrica às mesmas e desde que o tempo de anulação do caudal seja superior a 2 L/c. Para a determinação do valor deste tempo Rosich [10] propôs uma expressão semi-empírica baseada na hipótese de líquido incompressível. No caso de a pressão na secção da conduta junto à bomba variar linearmente (o que equivale ao caudal variar parabolicamente), os métodos de Allievi e das características permitem concluir que o valor exacto coincide com o obtido pela fórmula de Michaud.

O autor do presente trabalho considera que a importância da fórmula de Michaud deverá ser avaliada, na actualidade, sob os dois seguintes e diferentes pontos de vista:

— de uma expressão matemática singular a que se é conduzido em algumas análises exactas de casos de golpe de aríete;

— do resultado da adopção dum modelo matemático simplificado, de tipo parâmetro concentrado ou discreto («lumped parameter model»).

Na primeira perspectiva pode-se incluir a totalidade dos casos e contribuições já citados.

O segundo aspecto merece, contudo, ser realçado em virtude de o mesmo, para além de permitir uma justificação teórica e actual da fórmula, não se encontrar expresso na bibliografia referente ao trabalho de Michaud.

O modelo discreto constitui uma alternativa à fórmula de modelos contínuos de problemas físicos, permitindo a substituição de equações às derivadas parciais por equações diferenciais ordinárias mais simples de integrar **[5]**. Assim, Michaud, ao enunciar as cinco hipóteses, referidas em 3, com o intuito de simplificar a análise do comportamento do reservatório de ar, conseguiu, sem o referir explicitamente, ficar de posse dos requisitos formais à formulação do modelo discreto, tendo sido redundante a consideração do reservatório de ar fictício. Um modelo deste tipo tem somente em conta os efeitos elásticos globais na equação de continuidade do fluído.

Para o caso de fecho do obturador com variação linear de velocidade e comportamento reológico linear do fluído e da conduta, o modelo discreto permite a obtenção da seguinte expressão para a variação de pressão Δ P junto ao obturador (Anexo):

$$\Delta P = 0{,}5\, M\, (1 - \cos \omega t)$$

$$\text{com } \omega = 2\pi c / \sqrt{2}\, \pi L \qquad (5)$$

A expressão (5) fornece o mesmo valor de variação de pressão máxima que a solução exacta ou seja, o valor M da fórmula de Michaud. O período das oscilações é, contudo, $\sqrt{2}\,\pi\,L/c$ ou seja, cerca de 11% superior ao valor exacto. O modelo discreto altera, também, a forma do diagrama de pressões ao fazer passar pelos vértices da poligonal, no plano P-t, uma função cosinusoidal.

A solução (5) coincide exactamente com a obtida por Michaud em 1878. Igualmente se pode verificar, após algumas transformações algébricas, que os dois períodos de oscilação também coincidem pelo que a condição expressa pela hipótese H 4 corresponde, de um ponto de vista prático, à definição de manobra lenta tal como a mesma é entendida por Allievi.

5 — Conclusões

A fórmula de Michaud mantém-se válida, cem anos após a sua publicação, em determinadas condições, nomeadamente quando a variação de velocidade no órgão regulador numa manobra lenta, for linear ou parabólica. Michaud pode ser considerado como um dos principais percursores do estudo do golpe de aríete do ponto de vista da engenharia tal como esta é hoje entendida.

6 — Agradecimentos

O autor deseja manifestar o seu agradecimento ao Professor André Gardel, de Lausanne, pelo envio, em tempo útil, de uma cópia do artigo em efeméride e ao Professor António Quintela, do I. S. T., pela sugestão e incentivo na análise da validade da fórmula de Michaud.

7 — Bibliografia

[1] **Michaud, J.** — «Coups de bélier dans les conduites, étude des moyens employés pour en atténuer les effets». Bulletin de la Société Vaudoise des Ingénieurs et des Architectes, 1878, N.° 3, p. 56-64 e N.° 4, p. 65-77.

[2] **Almeida, A. B.** — «O golpe de aríete em condutas elevatórias. Bibliografia e síntese dos conhecimentos». Relatório elaborado no LNEC, 1979

[3] **Almeida, A. B.** — «Análise do golpe de aríete pelo método das características». Seminário Golpes de Aríete em Condutas. LNEC, Lisboa, 1978.

[4] **Anderson, A.** — «Menabrea's note on waterhammer: 1858». Journal of the Hydraulics Division, ASCE, HY-1, 1976, p. 29-39.

[5] **Aris, R.** — «Mathematical modelling techniques». Research Notes in Mathematics, N.° 24, London, Pitman, 1978.

[6] **Remenieras, G.** — «Maurice Gariel et l'étude des coups de bélier». La Houille Blanche, N.° 2, 1961, p. 156-167.

[7] **Wood, O. J.; Jones, S. E.** — Waterhammer charts for various types of valves». Journal of the Hydraulics Division, ASCE, HY 1, 1973, p. 168-178.

[8] **Lein, G.** — «The influence of waterhammer on the design and operation of pumped storage plants». Proc. International Symposium on Waterhammer in Pumped Storage Projects, ASME, 1965, p. 96-122.

[9] **Escande, L.** — «Remarque sur la surpression maxima engendrée par la régulation des groupes hydroeléctriques munis de déchargeurs». La Houille Blanche, N.° 5, p. A, 1948, p. 585-599.

[10] **Rosich, E. M.** — «Investigacion teórico-práctica de los valores reales del golpe de aríete por parada brusca de grupo motobomba en impulsiones. Sistema de calculo simplificado». Dyna, N.° 3, 1965, p. 155-170.

8 — Nomenclatura

L — comprimento da conduta (m);
P — pressão (Nm^{-2});
S — secção interna da conduta (m^2);
V — velocidade do escoamento (ms^{-1});
$\forall$ — volume de ar (m^3);
T — tempo de anulação de caudal (s);
c — celeridade das ondas elásticas (ms^{-1});
g — aceleração de gravidade (ms^{-2});
ρ — massa específica do fluido ($kg\,m^{-3}$).

O índice o indica valores de regime permanente. A barra sobre o símbolo de pressão indica que a mesma em valor absoluto.

ANEXO — Modelo Discreto de Golpe de Aríete

O modelo matemático simplificado discreto ou de parâmetro concentrado tem em conta, dum ponto de vista global, os efeitos elásticos. No caso de uma conduta gravítica, munida de obturador a jusante e ligada a um reservatório de grandes dimensões a montante, a equação de continuidade poderá ser expressa por:

$$\Delta V = \frac{L}{2\rho c^2}\dot{P} \qquad \text{(A-1)}$$

com diferença de valor das velocidades nas secções inicial e final da conduta e c valor teórico da celeridade das ondas elásticas. Não tendo em conta as perdas de carga a equação dinâmica global será:

$$\Delta P = -L\rho\dot{V} \qquad \text{(A-2)}$$

com ΔV diferença de valor das velocidades nas secções

Substituindo (A-1) em (A-2) obter-se-á a seguinte equação diferencial ordinária de segunda ordem, válida para variação linear de velocidade no obturador:

$$\ddot{P} + \omega^2(\Delta P - 0{,}5\,M) = 0 \qquad \text{(A-3)}$$

com $M = 2\,L\rho V_o/T$ e $\omega^2 = 2c^2/L^2$

A expressão (5) constitui a solução da equação (A-3).

Concepção e projecto de sistemas de telecomunicações no País*

ABREU FARO
PEDRO TEIXEIRA

2.1.3 — Comunicações móveis em HF e VHF

2.1.3.1 — Comunicações em HF — utilização, problemas e especificações

Introdução — Este tipo de comunicações destina-se, em princípio ao estabelecimento a nível nacional de ligações secundárias de carácter temporário ou operacional, a curta ou média distância. As estações móveis encontram-se geralmente articuladas com uma rede de postos fixos, que funcionam como seu complemento.

Embora a faixa utilizável se estenda dos 2 aos 30 MHz, emprega-se geralmente a banda dos 2-8MHz, e por vezes 1,6-12MHz, como nas comunicações militares.

As características de propagação, fortemente variáveis com a frequência, hora e localização, e a segurança das comunicações, fazem com que se recorra a um número elevado de canais, geralmente superior a 4, separados por vezes de uma década; recorre-se também à descentralização da rede de postos fixos de apoio, para evitar zonas de silêncio. Estes postos utilizam, em regra, antenas não-direccionais de banda larga, sem ganho.

As principais limitações de uma instalação móvel ou portátil de HF são:

— Disponibilidades energéticas limitadas: as baterias geralmente disponíveis de 12 ou 24 V, com capacidade que podem variar entre 3 Ah (portátil), e 200 Ah (veículo militar pesado).

— Rendimento global das antenas muito escasso (2 % a 2 MHz, 25 % a 12 MHz para um chicote vertical típico de 2,5 m), associadas em geral a sistemas de terra pouco eficientes.

— Nível exterior de ruído elevado, devido às características omnidireccionais das antenas, e à interferência electromagnética (EMI) da instalação eléctrica do veículo, ou de linhas de transporte ou de força motriz ocasionalmente vizinhas.

Este factores, associados à largura de banda disponível para um canal em HF (3-4 KHz), levam à adopção generalizada da modulação em banda lateral única (BLU ou SSB) em canais telefónicos (A3j) e telegráficos (F2). Exige-se por conseguinte uma estabilidade de frequência a curto prazo elevada, em regra melhor que 50-100 Hz para a faixa de temperaturas e de frequências de operação.

2.1.3.2 — Problemas principais das comunicações móveis em HF

Emissão — Por razões já referidas, as potências de saída encontram-se compreendidas entre 10 e 100 W, referidas a uma carga de 50 ohm. Tendo em atenção que o andar de saída deve ser linear (AB ou B), e o emprego eventual de conversores ou de reguladores estáticos, o rendimento energético total não vai além de 25-30 %. A baixa componente resistiva da impedância de entrada da antena, na sua maior parte de perdas, associada a uma largura de faixa muito estreita, exigem o emprego de uma malha de adaptação de complexidade variável, que pode ser de sintonia manual ou automática. Neste caso, emprega-se um servomecanismo que toma como sinal de erro uma tensão ou corrente proporcional à taxa de onda estacionária, geralmente referida a 50 ohm. Este sinal pode ainda servir para accionar circuitos de protecção contra desadaptação, curto-circuito ou circuito aberto. As limitações de espaço, e os dispositivos mecânicos de ajuste, fazem com que estas unidades de adaptação (ATU) tenham um rendimento pouco elevado; por exemplo 10 % a 2 MHz, 70 % a 12 MHz, podendo ser atingido um máximo numa faixa intermédia de frequências. Deve atender-se ao isolamento necessário na fixação destas antenas, com tensões que podem ser da ordem das dezenas de KV, especialmente na parte inferior da faixa; para potências elevadas, recorre-se a terminações anti-corona.

A tecnologia actual permite satisfazer, dentro de larga margem, o legislado sobre largura de faixa, supressão de portadora e outros sinais não desejados.

Recepção — na faixa de HF, e sobretudo em equipamentos móveis ou portáteis, o receptor não é geralmente limitado pela sensibilidade, mas pelo nível de ruído e de interferências exteriores, sobretudo de natureza atmosférica ou industrial.

Embora seja viável a supressão, por interrupção, de certas formas de ruído impulsivo, a melhoria

* Conclusão do artigo que se tem vindo a publicar nas TÉCNICAS n.os 445, 446, 447 e 448.

resultante não é grande. Por outro lado, há que ter em conta que a BLU não apresenta limiar, como no caso da MF. Este ruído exterior pode apresentar valores da ordem de 30 dBuV (relativos a 1 uV fem em 50 ohm) a 2 MHz, e de −10 dBuV para 30 MHz. O ruído interno do receptor pode ser expresso como (F-20) dBuV para uma faixa de 3 KHz, em que F é o factor de ruído. Conseguem-se actualmente valores de F da ordem de 10-20 dB. Resulta que apenas na faixa dos 20-30 MHz, aliás pouco utilizada, é possível o aproveitamento do factor de ruído do receptor.

Nesta conformidade, a principal especificação deve incidir na protecção contra sinais interferentes, que se consegue através da linearidade e da selectividade do receptor. A selectividade é conseguida fora da banda mediante pré-selecção, e um valor de FI elevada, por exemplo na faixa 15-100 MHz. Esta solução pode dar origem a receptores de dupla conversão. Aceitam-se valores da rejeição de FI da ordem de 60-80 dB, embora a experiência mostre não se tratar de um factor determinante na qualidade da ligação. Pelo contrário a linearidade e a selectividade na banda são características essenciais.

A linearidade é obtida pelo emprego de amplificadores de RF e de misturadores de grande gama dinâmica e, em menor grau, através do comando automático de ganho (CAG) com constantes de tempo apropriadas, e de atenuadores de entrada actuados electronicamente. Recorre-se, por exemplo, a amplificadores com transistores de potência ou de efeito de campo, com realimentação, e a misturadores passivos, com diodos de Schottky, ou a conversores paramétricos. O funcionamento linear é geralmente especificado pelo ponto de intersecção de 3.ª ordem, referido ao sinal de entrada. Atingem-se valores típicos de 70-110 dBuV com a tecnologia actual. A selectividade na banda é obtida por filtros apropriados. Pode medir-se através do factor de forma S_{6-60}, por exemplo; conseguem-se valores da ordem de 1,8-1,5 com uma rejeição fora da banda melhor que 100 dB. Utilizam-se geralmente filtros com vários cristais piezoeléctricos, de construção monolítica. Em frequências elevadas é possível a configuração de escada, que simplifica a construção e o projecto. As estruturas de onda mecânica superficial (S. A. W.) não se encontram ainda disponíveis; os resultados preliminares permitem concluir do seu interesse.

2.1.3.3 — Evolução dos sistemas e tecnologia

Não tem havido recentemente alterações substanciais dos métodos de modulação e desmodulação em BLU. Apesar das aparentes vantagens dos métodos de Weaver e de Norgaard, e da modulação em dupla banda lateral com detecção correlacionada de Costas, a eliminação da portadora por modulador equilibrado, e a supressão da banda não desejada por filtros de frequência fixa, parecem ser de emprego geral. Refere-se, contudo, a modulação polifásica de Gingell, e a introdução de moduladores e de filtros digitais, hoje em dia restrita às baixas frequências, mas de potencial interesse.

A modulação em BLU não se presta à transmissão de dados, pelo que se recorre para este fim à reinserção parcial da portadora, à modulação vestigial, ou a tipos mais elaborados de modulação ou de processamento («vocoder», modulação em delta, etc.) que podem apresentar a vantagem adicional da compressão do espectro, ou de inclusão de sinais de sinalização, que permitem encaminhar a comunicação numa rede complexa, por exemplo, militar; garante-se, também, a segurança da ligação.

Merece especial referência o processamento do sinal de BLU de forma a aumentar a sua inteligibilidade. Recorre-se, por exemplo, à compressão silábica, ou à limitação de amplitude, de forma a obter-se um compromisso entre distorção e aumento da relação valor médio/valor de pico do sinal.

O impacto tecnológico traduz-se neste tipo de equipamentos principalmente pela introdução de dispositivos de estado sólido, discretos e integrados, que permitiram obter na prática:

— Aumento de fiabilidade, redução de consumo, peso e dimensões.

— O comando e a estabilização digital da frequência através de sintetizadores, permitindo obter um número elevado de canais, por exemplo 10^4.

— A construção de padrões secundários estáveis (TCXO), que permitem obter estabilidades da ordem de 10^{-7} a curto prazo.

— A substituição com vantagem de válvulas electrónicas em andares de saída de pequena e média potência (até cerca de 100 W).

Acrescente-se, ainda: o progresso realizado na construção integrada de filtros, a disponibilidade de novos materiais magnéticos e de dissipação de calor, a miniaturização de componentes passivos, o aumento da relação capacidade/peso das baterias, etc.

Deve notar-se que a indústria nacional absorveu a maior parte destas inovações.

2.1.3.4 — Realizações da indústria nacional. Potencialidades do seu mercado

O fabrico deste tipo de equipamento no País iniciou-se há cerca de vinte anos, apoiado na generalidade em desenvolvimento e projectos nacionais. Tem vindo a ser periodicamente renovado pela apresentação de novos modelos, que reflectem algumas novas tecnologias. Diversos factores ,como as guerras coloniais, e o apetrechamento de outras forças paramilitares, levaram à fabricação de uma série de equipamento portátil militar. Assinale-se, em particular, a produção de emissores-receptores com 50 W de saída inteiramente transistorizados (1968), e de postos com sintetizador em 1969. Alguns destes equipamentos foram exportados em número relativamente elevado.

Prepara-se actualmente a produção de postos de média e alta potência (1 KW) para comunicações marítimas.

O relativo atraso tecnológico no desenvolvimento e projecto nacional, se bem que mínimo comparado com outros ramos de engenharia, é contudo suficiente para limitar as dimensões de possíveis mercados, principalmente de exportação.

No entanto, a adopção obrigatória da BLU em comunicações marítimas de HF, pode abrir um extenso mercado interno, sobretudo se forem garantidos meios suficientes de protecção; o mesmo se aplica à renovação da aparelhagem de comunicações do Exército, na quase totalidade gasta e absoleta, não cumprindo na sua maior parte especificações militares. Finalmente o reapetrechamento e manutenção de redes secundárias nas ex-colónias, e noutros países em vias de desenvolvimento, pode constituir um mercado potencial interessante.

2.1.3.5 — Comunicações em VHF/UHF

Trata-se do método usual para o estabelecimento de ligações com carácter definitivo. A tendência é a do emprego da faixa de VHF para ligações a pequenas ou médias distâncias, através de repetidores, e da faixa de UHF para comunicações em zonas densamente povoadas, montanhosas ou fechadas, dado as suas propriedades de difracção.

Trata-se predominantemente de um serviço de frequência fixa, encontrando-se as faixas disponíveis divididas em canais. A sua largura actual é de 25 KHz, sendo possível uma compressão num futuro próximo.

Emprega-se geralmente a modulação de frequência (MF), em banda estreita para comunicações telefónicas simples, e em banda larga para ligações multiplexadas ponto a ponto. A modulação em BLU conduz a equipamentos mais complexos, e não oferece vantagens do ponto de vista prático, pelo que não é geralmente empregada.

Os métodos de modulação e de desmodulação de frequência são clássicos, não tendo sofrido alterações significativas no súltimos tempos. A modulação é efectuada por reactância variável ou por conversor tensão-frequência (VFC), e a desmodulação por discriminador ou oscilador local sincronizado em fase (PLL).

O impacto da tecnologia referido para os equipamentos de HF afecta de forma semelhante o projecto e a fabricação em VHF/UHF. Pode dizer-se que, com excepção da aparelhagem mais sofisticada para ligações ponto a ponto em serviços públicos ou militares, o projecto e a fabricação destes equipamentos se aproxima bastante dos padrões que caracterizam a electrónica de consumo. Talvez por esta razão não tem havido, de forma organizada ou significativa, projecto, fabricação ou simples montagem deste tipo de equipamento em Portugal.

Não se referem, assim, especificações, ou problemas relativos ao seu projecto e desenvolvimento. Uma vez que a sua utilização no País é contudo intensiva, encontrando-se ainda em fase de expansão, conviria, em nossa opinião, efectuar um estudo sobre a viabilidade do seu projecto e fabrico nacionais, uma vez que tal pode assentar em infra-estruturas materiais e humanas imediatamente disponíveis.

2.2 — Meios de transmissão

2.2.1 — Feixes Hertzianos

Actualmente, em Portugal, são utilizados sistemas de feixes hertzianos principalmente para os seguintes serviços:

— tráfego telefónico interurbano;

— ligações (video e audio) entre estúdios (fixos ou móveis) e os centros emissores de radiodifusão sonora e de televisão;

— interligação entre os principais centros emissores de radiodifusão e de televisão;

— ligação à rede europeia de televisão;

— interligação entre os centros emissores e receptores destinados ao tráfego internacional (quer em ondas curtas, quer em micro-ondas — via satélite) e os centros de comunicações (centrais telefónicas e telegráficas).

A evolução a curto e a médio prazo destes sistemas será condicionada por:

— evolução do tráfego telefónico, que nos últimos anos tem vindo a expandir-se a cerca de 15 % ao ano;

— a urgência de aumentar a cobertura do País pela televisão, principalmente no que diz respeito ao II canal;

— a necessidade de canais rápidos para transmissão de dados (só economicamente realizáveis em microondas) destinados, sobretudo, à interligação de centros de processamento electrónico de dados que uma descentralização administrativa, em termos actuais, tornará imperiosa;

— a automação e interligação dos diferentes centros produtores, distribuidores e consumidores de energia eléctrica.

Julga-se que, dada a situação do País, a maioria das novas necessidades seja resolvida recorrendo a sistemas de feixes hertzianos, cuja capacidade poderá ainda, por alguns anos, satisfazer as necessidades previsíveis.

Actualmente a maioria dos sistemas de feixes hertzianos utiliza a multiplexagem por divisão na frequência (FDM) para a formação do sinal de banda de base e a modulação de frequência (FM) para formação do sinal de radiofrequência.

O número de canais telefónicos por portadora tem crescido regularmente estando já em serviço, correntemente, sistemas com 2700 canais.

Como a largura de banda dos canais de radiofrequência atribuídos não excede, por portadora, cerca de 30 a 35 MHz as vantagens de modulação de frequência vão sendo cada vez menores.

Daqui o interesse em sistemas digitais de modulação. As larguras de banda necessárias levam estes sistemas a utilizar frequências cada vez mais elevadas (para além dos 12 GHz) apesar das dificuldades causadas pela presença de atmosfera, chuva, etc.

A congestão do espectro tem obrigado recentemente a cuidados especiais com as antenas que deverão garantir um isolamento elevado entre polarizações cruzadas de forma a que no mesmo trajecto a mesma banda possa ser utilizada duas vezes.

A evolução da tecnologia dos sistemas de feixes hertzianos (de que os primeiros foram instalados em 1950 pela Bell Telephone Company) tem sido bastante acentuada nos últimos anos com o desaparecimento dos tubos electrónicos, incluindo em muitos casos os tubos de microondas (clistrões e tubos de onda progressiva).

É hoje em dia possível obter:

— preamplificadores de radiofrequência com baixo nível de ruído (tipicamente 2 a 3 dB a 4 GHz) que permitem, nuns casos, substituir amplificadores paramétricos, noutros casos ganhar de 6 a 10 dB de potência (relativamente a receptores sem preamplificação de radiofrequência);

— amplificadores de potência (utilizando exclusivamente a tecnologia do estado sólido) capazes de garantir potências de algumas dezenas de watts a 1 ou 2 GHz e alguns watts a 10 GHz.

O desenvolvimento tecnológico, neste domínio, foi estimulado, de início quase só por razões militares já que os equipamentos de feixes hertzianos usam a mesma tecnologia dos sistemas de radar. Presentemente o desenvolvimento é já quase todo garantido pelos próprios sistemas de comunicação, em especial os via satélite.

Trata-se de uma tecnologia de ponta e não há, provavelmente, condições em Portugal que permitam o fabrico nacional de sistemas.

É, no entanto, indispensável, para que num futuro breve não seja o País completamente colonizado pelo estrangeiro num domínio de tão relevante importância, que, pelo menos, se realizem em Portugal:

— os estudos de viabilidade e a definição dos sistemas e soluções;

— o anteprojecto e o projecto;

— a elaboração do caderno de encargos.

Tratando-se de sistemas em que o equipamento é, em geral, do tipo modular e existindo internacionalmente um mercado muito competitivo em que muitas das empresas fabricantes apenas realizam alguns dos módulos, há toda a vantagem para o País em elaborar cadernos de encargos muito detalhados de tal modo que os fornecimentos possam ser fraccionados adjudicando os diferentes módulos a vários fornecedores, escolhendo em cada caso aquele que reuna o melhor conjunto de condições técnico-financeiro-económicas.

Este tipo de contacto, ao contrário do contacto chave-na-mão (que tanto descansa as Administrações não técnicas) permite obter:

— preços e condições técnicas mais vantajosos;

— maior independência relativamente a fornecedores;

— desenvolvimento das competências técnicas nacionais;

— montagem dos sistemas em Portugal, ocupando mão-de-obra portuguesa e permitindo alguma economia de divisas;

— um estímulo, não desprezável para o fabrico nacional de alguns módulos.

2.2.2 — Interligação por cabo submarino e satélite

2.2.2.1 — Introdução

O primeiro cabo submarino inaugurou, há mais de cem anos («Great Eastern», 1866), as comunicações intercontinentais por telegrafia de baixa velocidade. As ligações telefónicas só se tornaram possíveis por via radioeléctrica, inicialmente (1922) em ondas longas (LF-MF), e mais tarde (1929) na faixa das ondas curtas (HF).

Apesar de se empregarem, progressivamente, métodos aperfeiçoados de comunicação, como por exemplo modulação em banda lateral única (SSB) de emissores de grande potência, antenas direccionais, recepção por diversidade, etc., as ligações em HF têm três inconvenientes principais, que não podem ser completamente eliminados por qualquer evolução tecnológica:

— acção do ruído externo e sinais interferentes;

— capacidade limitada;

— condições de propagação variáveis, de previsão incompleta e ocasionalmente nulas.

Acresce ainda que os processos de modulação em banda estreita, típicos da exploração em HF, não permitem uma utilização eficiente do canal de comunicação.

Por estas razões, a qualidade e a fiabilidade das comunicações radioeléctricas intercontinentais em HF são sempre inferiores às dos serviços domésticos por cabos ou feixes hertzianos, e a sua capacidade muito mais restrita.

A instalação, em 1956, do primeiro sistema de cabo submarino telefónico multicanal por portadoras de HF passou a apresentar, a par de uma qualidade e fiabilidade idênticas à do serviço doméstico, uma capacidade relativamente elevada, cujo aumento pode ser assegurado de forma sistemática. Como resposta do utilizador, houve um imediato incremento do tráfego telefónico intercontinental. Dado o custo elevado do cabo, e a sua capacidade limitada, a interligação por satélite surgiu como alternativa.

O emprego de satélites retransmissores de microondas que não são reflectidas pela ionosfera, são escassamente absorvidas pela atmosfera, e permitem uma largura de faixa elevada, foi preconizado pela primeira vez em Inglaterra por Clarke (1945), e pouco depois por Pierce nos Estados Unidos. Assegurados os meios de tecnologia espacial e de comunicações necessários, foram sucessivamente lançados um satélite passivo reflector («Echo I») em 1960, e um activo («Telstar») em 1962, seguidos, em 1963,

por um satélite repetidor activo com órbita geoestacionária («Syncom»). A exploração comercial desta ligação começou em 1965 com o satélite repetidor Intelsat I («Early Bird»), após se terem criado as infraestruturas de direcção e financiamento para uma rede à escala mundial. A utilização desta via tem sido constantemente crescente: a taxa de crescimento anual que era em 1965 de 27,5 %, mantém-se doze anos depois em 15-20 %.

Actualmente, cabos submarinos e satélites oferecem possibilidades de interligação telegráfica e telefónica em princípio semelhantes. O satélite apresenta contudo maior fiabilidade, e capacidade mais elevada, a par de outras vantagens adicionais, como a de permitir a transmissão de TV.

A tendência actual é uma divisão do tráfego a 50 % entre estes dois meios. Para o utilizador, como Portugal, com possibilidade de acesso a estas duas vias, a repartição do tráfego, em igualdade de circunstâncias, obedece principalmente a razões de ordem económica, que serão vistas adiante.

2.2.2.2 — Interligação por cabo submarino

— Evolução tecnológica

Os sistemas mais recentes de cabos submarinos, como por exemplo o TAT-6, têm capacidades máximas da ordem dos 4000 - 5000 canais telefónicos de 3 KHz. Note-se que o termo canal telefónico é usado na acepção de circuito completo; implica por conseguinte a ocupação na frequência de dois canais separados, um para cada sentido da comunicação. A largura da faixa total é assim de 20-30 MHz. Contudo, a grande maioria dos cabos em serviço, com 6 ou 7 anos de idade, têm capacidades mais modestas, por exemplo 800 canais de 3 KHz. A largura de faixa total é, neste caso, cerca de 6 MHz. Esta faixa encontra-se dividida em duas sub-bandas (alta e baixa) consoante o sentido da ligação, e inclui ainda canais de serviço, telesinalização e identificação de avarias.

A capacidade do cabo vai definir a sua largura de faixa total, e o tipo de cabo coaxial empregado, vai estabelecer as perdas totais de ligação, máximas no limite superior da faixa. Para um cabo submarino típico, com 40 mm de diâmetro, a atenuação é de 4 dB/milha a 10 MHz, e a impedância característica de 60 ohm. Num percurso transatlântico (3500 milhas) as perdas podem ser da ordem de 15-20 $\times$ 10^3 dB. A compensação destas perdas terá naturalmente de se efectuar por via intercalar, entre as estações terminais, mediante a inserção de repetidores activos mergulhados, que se considera fazerem parte integrante da interligação. O número de repetidores é variável consoante a largura de faixa e as perdas no cabo; para uma banda de 6-10 MHz e perdas de 4 dB/milha, insere-se geralmente um repetidor por cada 10 milhas.

O repetidor é essencialmente constituído por um amplificador de banda larga, de alto ganho e reduzida distorção não linear; trabalha geralmente com uma taxa de realimentação negativa elevada, limitada superiormente pelo ganho em aberto ou pela estabilidade do sistema.

A amplificação é tornada bidireccional mediante a ligação em ponte de filtros passa alto e passa baixo que eliminam ou deixam passar a banda alta ou a banda baixa.

Para a detecção de avarias, cada repetidor dispõe geralmente de um oscilador local estável, comandado a cristal, que transmite uma frequência específica de sinalização, localizada numa faixa no limite superior da banda alta.

As características principais de um repetidor típico (TAT-5) são: ganho de inserção 40 dB, factor de ruído 7.6 dB, potência de saída 20 dBm, impedância característica 60 ohm, ganho de retorno 22.5 dB. O ganho de cada repetidor é ajustado de fábrica, de modo a compensar exactamente as perdas do troço de cabo que lhe está associado. Contudo, as características do cabo podem variar dentro de certos limites, devido a tolerâncias, variações de temperatura a diferentes profundidades ,etc., pelo que podem ocorrer desadaptações de ganho. O carácter cumulativo destas desadaptações pode limitar drasticamente a relação sinal-ruído global no cabo, ou lançar na saturação repetidores distantes. Para as corrigir, inserem-se no cabo, por exemplo de 20 em 20 repetidores, blocos igualizadores passivos que são ajustados durante o lançamento. Nas estações terminais existem também redes complexas de igualização e de limitação dos sinais.

A alimentação dos repetidores é efectuada em série, por geradores de corrente constante colocados numa ou nas duas extremidades do cabo.

Uma especificação típica é por exemplo de 150 mA, correspondente a uma queda de tensão de 13 V por repetidor. Tendo em conta as quedas de tensão no cabo (0,2-0,3 V/milha) e a de retorno pela terra (por exemplo 2000 V), a tensão DC total pode atingir num cabo transatlântico 8500 V. Geralmente, cada estação terminal fornece metade, através de geradores com a polaridade invertida em cada uma, encontrando-se contudo preparada para eventualmente poder fornecer a tensão total.

Em certos tipos de avaria, esta solução permite anular a tensão de alimentação num dado repetidor, por repartição da carga sobre uma ou outro estação.

À parte esta unidade, uma estação terminal não apresenta sistemas ou equipamentos que difiram essencialmente dos encontrados nas ligações terrestres por cabo coaxial ou feixes, onde se não põe em jogo na exploração tecnologias de ponta.

O tempo de vida projectado para um cabo submarino, por si, anda por 20-30 anos, e é estabelecido em termos da sua exploração e amortização do seu custo, que é muito elevado. Este prazo põe naturalmente em jogo problemas especiais de fiabilidade, estabilidade, envelhecimento prévio e pré-selecção de todos os componentes do cabo e repetidores. Para um repetidor típico com 3 transistores, 4 diodos e 120 componentes passivos RLC, exigem-se taxas de

avaria de 5×10^9 transistores.horas, 1×10^9 díodos.horas e 1×10^{10} componentes passivos.horas. Repare-se que a tecnologia do estado sólido veio aumentar a fiabilidade global do sistema.

— Vantagens e inconvenientes

Em primeiro lugar, as vantagens do cabo submarino são de ordem económica: apesar do investimento inicial ser muito mais elevado que o de uma estação terminal para satélite, a sua exploração pode ser inteiramente destinada a amortizá-lo, pelo que o custo efectivo da ligação vai diminuindo durante a vida do cabo, podendo a partir de certa data ser nulo, resultante apenas dos encargos de manutenção das estações terminais e do cabo.

Por outro lado, a tecnologia destas estações é, como se referiu, simples, a assistência é de rotina e pode ser prestada por pessoal com um grau de especialização não muito elevado.

Do ponto de vista técnico, há que salientar em primeiro lugar a imunidade do cabo a todas as formas de ruído exterior, e o seu tempo de propagação ser praticamente nulo, comparado com o do satélite geoestacionário, em que um eco equivale a cerca de 150 000 Km de percurso, e portanto, a um atraso de cerca de 0,5 s. Este facto faz com que raramente se efectuem ligações telefónicas com dois saltos por satélite, preferindo-se associar a um salto o percurso em cabo submarino.

Apesar do seu tempo de vida ser cerca de 3-4 vezes o dum satélite típico de comunicações, a sua fiabilidade global é muito inferior, porque os cabos, apesar de indicados nas cartas, são muitas vezes voluntária ou involuntariamente cortados por embarcações de pesca e respectivos aprestos.

Por último, há que referir que o cabo submarino é o meio de comunicação ponto-a-ponto típico enquanto que o satélite permite uma muito maior dispersão. Num cabo, o sistema de multiacesso é caro, e em certos casos impossível dada a não existência de meios terrestres de confiança (por exemplo, os casos da África e da Ásia). Acresce ainda que o cabo submarino só pode ser colocado, em termos de exploração, entre locais que disponham de meios e de utilização que garantam uma capacidade de tráfego elevada. Por esta razão, a grande maioria dos cabos existentes cruza o Atlântico entre a Europa e os Estados Unidos, ou a América do Sul.

A tendência actual é a do lançamento de novos cabos por consórcios internacionais, em que cada país interessado tem uma parte dos canais, ou dos lucros em diversos cabos.

— Rede de cabos afecta ao País

O actual concessionário das comunicações por cabo submarino e por satélite no País é a C. P. R. Marconi. Explora na totalidade o cabo Continente-Madeira (120 canais de 4 KHz) e detém alguns canais nos seguintes

Portugal-África do Sul (total 360 canais de 3KHz)

Portugal-Inglaterra (total 360 canais de 3 KHz)

Encontra-se ainda interligada por feixe hertziano com os cabos

Espanha-E. Unidos (TAT-5), total 845 canais de 3 KHz
Espanha-Itália (MAT-5), total 640 canais de 3 KHz

e detém participação nos cabos

Brasil-Canárias (BRACAN-1), total 160 canais de 3 KHz
Canárias-Espanha (PENCAN-2), total 160 canais de 3 KHz
Canadá-Inglaterra (CANTAT-2), total 1840 canais de 3 KHz
E. Unidos-França (TAT-6), total 4000 canais de 3 KHz

Num futuro próximo está planeada a ligação, para utilização conjunta, do cabo Portugal-França (Bretanha), com 2580 canais de 4 KHz.

2.2.2.3 — Interligação por satélite

— O satélite

Os satélites de comunicações empregues em ligações internacionais (COMSAT) são geoestacionários, numa órbita de equilíbrio equatorial síncrona circular, com 42 100 Km de raio, encontrando-se portanto a 35 800 Km de altura no Equador.

O satélite tem assim visibilidade sobre 40 % da superfície terrestre, que se apresenta com um diâmetro angular de cerca de 17°. Em termos práticos, é possível estabelecer comunicações entre estações terrestres espalhadas num terço da superfície da Terra. A cobertura total exige assim um mínimo de três satélites síncronos afastados de 120°, e encontra-se actualmente realizada por sete satélites, três no Atlântico, dois no Índico e dois sobre o Pacífico.

Até ao presente, a atitude dos satélites de comunicações é estabilizada por rotação da sua parte externa, excluindo antenas, em torno dum eixo paralelo ao da Terra. Tipicamente a velocidade de rotação é de 50 rpm.

Pequenos motores de combustível líquido accionados por sensores corrigem pequenos desvios, mantendo as antenas apontadas para a Terra, com a direcção correcta.

O satélite inclui também um motor de combustível sólido, que só funciona quando do lançamento, para a transferência da órbita de lançamento para a órbita síncrona («apogee kick»). Este motor, inútil na operação normal, representa cerca de 50 % do peso do satélite.

A órbita do satélite é perturbada pela oblaticidade da Terra, pela Lua e pelo Sol, que tendem a tornar a sua inclinação não nula. As correcções necessárias, possíveis por telecomando, efectuam-se

em regra mensalmente, e permitem uma precisão da ordem de 0,1° (60 Km na órbita). A maior parte do combustível líquido é consumido nestas correcções, cuja frequência vai limitar na prática o tempo útil de vida do satélite.

O satélite suporta, além dos sistemas de propulsão e de orientação a estação repetidora, composta de três partes: a unidade de alimentação, o conjunto electrónico, e as antenas e seus acessórios.

A unidade de alimentação tem como principal componente uma associação em painel de baterias solares, que recobre a maior parte da superfície lateral, que é como vimos rotativa. Resulta que só há conversão de energia em metade do tempo, havendo ainda a considerar dois períodos anuais de eclipse pela Terra; uma bateria interna serve de reservatório. O conjunto electrónico é formado pelo modem de telemetria e comando, e sistema emissor-receptor associado, e por um ou mais conjuntos emissor-receptor independentes, designados por repetidores espaciais ou «transponders», que repetem ou transferem o tráfico telefónico ,telegráfico ou de TV que incide no satélite. O sistema de antenas, de complexidade variável, pode ter uma cobertura global ou direccional da superfície da Terra, e utiliza geralmente a polarização circular. Devido a limitações de ordem dimensional, introduzidas pelo veículo de lançamento, o ganho destas antenas é pequeno.

— Sistema de comunicações

— A ligação espacial

A «janela» de frequência para comunicações espaciais estende-se em termos práticos de 1-20 GHz, limitada inferiormente pelo ruído e pela blindagem da ionosfera e superiormente pela absorção atmosférica. Por convenção internacional (CCIR), foram estabelecidas entre outras as bandas de 3,7-4,2 GHz, 7,2-7,7 GHz e 11,4-11,7 GHz para o percurso satélite-Terra (feixe descendente ou «downlink») e 5,9-6,4 GHz, 7,9-8,4 GHz e 14,0-14,5 GHz para a ligação Terra-satélite (feixe ascendente ou «uplink»). São utilizadas actualmente as bandas de 4-6 GHz no tráfego comercial, a de 7-8 GHz em satélites militares; a exploração dos 11-14 GHz deve iniciar-se em 1980. Estas frequências encontram-se partilhadas com outros serviços terrestres de ligações ponto a ponto.

Para as faixas 4-6 GHz, as perdas de ligação são da ordem de 200 dB em cada percurso, correspondente a cerca de 35 800 Km (196 dB no feixe descendente, 199 dB no ascendente). Uma vez que aquelas faixas se encontram repartidas com outros serviços, a potência aparente radiada (EIRP) referida ao caso isotrópico, é fixada em 32,1 dBW (referência 1W) ou sejam 1,6 kW por portadora a 4 GHz. A potência recebida na Terra é mínima: cerca de — 165 dBW (4×10^{-17} W). Este sinal não é praticamente afectado pelo desvanecimento típico das ligações por feixes, visto que o percurso na atmosfera é muito pequeno. A potência incidente no satélite a 6 GHz encontra-se também limitada por convenção, de forma a não saturar o repetidor, nem introduzir distorção por intermodulação.

Para os tipos mais recentes de satélites, é estipulada em 61 dBW (EIRP) por canal telefónico e 86 dBW para uma portadora de TV, referidas à estação terrestre. O emprego de antenas direccionais de ganho elevado e abertura muito estreita nas estações terrestres elimina quase por completo a possibilidade de interferências com outros serviços.

Verifica-se assim que o feixe descendente é muito mais crítico que o ascendente.

— Tipo de modulação e largura de faixa

Emprega-se a modulação de frequência em banda larga ,dispondo o sistema total duma largura de faixa nominal de 500 MHz, com possibilidades de reocupação, como veremos. O sinal modulante (banda de base) é um conjunto de canais telefónicos de 4 KHz de largura multiplexado em supergrupos (FDM/SSB), como a banda de base duma ligação terrestre por feixes hertzianos ou cabo coaxial. Contudo, nas comunicações por satélite o feixe descendente é disperso, e pode iluminar igualmente um certo número de estações, que recebem o tráfico que se lhes destina, proveniente de uma ou de diversas estações, e vice-versa. Tal é o princípio do acesso múltiplo (FDMA, «frequency division multiple acess»). Este processo de dispersão com ganho, só possível nas comunicações por satélites síncronos, é utilizado no escoamento da maior parte do seu tráfego.

É de salientar que as estações terrestres existentes se encontram preparadas para operar nas faixas a que se fez referência, dentro da largura de banda referida de 500 MHz. Quaisquer alterações destes parâmetros implicam modificações substanciais nas partes de maior custo: antena, preamplificador de entrada, etc.

O aumento de capacidade que se faz sentir (a taxa de crescimento actual é de 15-20 % ao ano), terá de ser satisfeito, de imediato, por reutilização daquela faixa; a abertura das faixas 11-14 GHz só se verificará com o satélite Intelsat V, previsto para 1980. Os métodos de reutilização dependem da constituição do repetidor espacial e dos sistemas de exploração, que serão vistos a seguir.

— Evolução e organização da estação repetidora

Se nos restringirmos apenas aos satélites comerciais de comunicações, podemos dar conta da sua evolução, efectuando uma comparação sumária entre as características principais do primeiro satélite Intelsat I (Early Bird»), do satélite Intelsat IV-A, correspondente ao último modelo já em órbita, e o da próxima geração Intelsat V; ver tabela da página seguinte.

Para se obter uma largura de faixa total de 500 MHz, é conveniente a divisão do satélite em repetidores espaciais («transponders») de funciona-

mento em princípio independente uns dos outros; cada um repetirá um segmento limitado da faixa total.

O satélite Intelsat IV-A possui vinte repetidores cada um cobrindo uma largura de faixa de 35 MHz; este arranjo excede amplamente a largura de faixa disponível de 500 MHz. É aqui que entra em jogo a primeira táctica de reutilização ,que resulta de alguns repetidores se encontrarem ligados a antenas direccionais, que iluminam apenas uma dada zona da superfície visível da Terra, de grande densidade de tráfego, com um feixe de 4,5° («Spot beam»).

O satélite dispõe também de repetidores com saída direccional hemisférica iluminando a região leste, e outros ocupando a mesma faixa, para a região oeste, Por conseguinte, o mesmo segmento da largura de faixa total é reutilizado à custa duma discriminação espacial. Esta solução pode no entanto não ser conveniente para alguns utilizadores ou tipo de serviço, quer pela sua localização geográfica, ou pelo pequeno tráfego que processam. Desta forma, o satélite possui repetidores com antenas de cobertura total («global beam») com um feixe de 17°. A largura de faixa equivalente não é portanto de duas vezes 500 MHz, mas menor (800 MHz), uma vez que a reutilização não pode abranger todos os repetidores. Acresce que os serviços de TV e de SPADE, exigem cobertura global.

um nível de —110 dBW, são recolhidos pelo sistema separado de antenas de recepção, com um ganho da ordem de 15-20 dB e entram em conjunto num amplificador de baixo ruído, paramétrico ou com díodos de túnel; são seguidamente convertidos em BLS num misturador passivo para a faixa dos 4 GHz.

A frequência do oscilador local, comandado a cristal, é de 2225 MHz, obtida por cadeia multiplicadora. Esta frequência vai permitir fazer a correspondência dos limites do feixe ascendente com os do descendente. O sinal conjunto de 4 GHz é em seguida amplificado e separado em canais de 36 MHz de largura de faixa, que são individualmente igualizados em amplitude e fase. Cada canal é então amplificado num tubo de onda progressiva (T. W. T.) até ao nível final de potência pretendido. Para ajustar o sinal de entrada no amplificador final, recorre-se a um atenuador variável que, juntamente com o igualizador já referido, são activados por comando remoto.

Existe um duplicado do bloco amplificador/ /misturador em reserva ,assim como de cada andar final..

O satélite Intelsat IV usa dezasseis repetidores (8 + 8) na cobertura direccional, e os quatro restantes na cobertura global. Este tipo de exploração pode contudo ser alterado por comando da Terra.

Caracterização	Intelsat I	Intelsat IV-A	Intelsat V
Ano de Lançamento	1965	1975	1980 (?)
Largura de faixa total (MHz)	50	800 (1)	2 300 (3)
Comprimento (m)	0,6	5,9	15,7
Peso (Kg)	38	790	970
Potência eléctrica DC (W)	40	500	1 200
N.° de canais telefónicos	240	6 000	12 000
Tempo de vida (anos)...	1,5	7	7
Investimento por circuito/ano (2) ...	100	3,3	2,4
Custo de 1 hora TV a cores (2) ...	100	22	18 (?)

(1) Com reutilização espacial
(2) Base 100 — Intelsat I
(3) Com reutilização espacial, de polarização, e faixas de 4-6 e 11-14 GHz

Uma outra táctica de reutilização é fornecida pela polarização. Neste caso, as saídas dos diversos repetidores são discriminadas primeiro na direcção, e, dentro da mesma direcção, pela polarização (circular) direita ou esquerda. Esta reutilização, que ainda não foi posta em prática, será empregue no satélite Intelsat V. Note-se contudo que esta solução vai obrigar a alterações mais ou menos profundas no sistema de alimentação («feed») das antenas das estações terrestres.

A capacidade adicional deste satélite deve-se também ao uso das faixas 11-14 GHz.

O princípio de funcionamento do repetidor é, em princípio semelhante ao de um super-heterodino: todos os sinais de entrada na faixa dos 6 GHz, com

— A estação terrestre

A estação terrestre compreende a antena de emissão/recepção, de grandes dimensões, os seus órgãos de orientação e de alimentação, o emissor telefónico e, nalguns casos, um emissor separado para TV, e a parte receptora. Fazem também parte da estação os múltiplos telefónicos (MUX) que formam e separam ,total ou parcialmente ,a banda de base transmitida ou recebida. A interligação com a rede local é geralmente feita por feixes hertzianos de grande capacidade.

Como foi já salientado, o receptor é dos pontos mais críticos da estação terrestre, uma vez que os sinais do feixe descendente são muito fracos, da

ordem dos −165 dBW. A par de antenas de alto ganho, empregam-se preamplificadores de baixo ruído; recorreu-se inicialmente a «masers» arrefecidos por azoto líquido, mas a tendência actual é a da utilização de amplificadores paramétricos, trabalhando nalguns casos próximo da temperatura ambiente (−18° C). Na saída deste preamplificador encontram-se ligados os receptores propriamente ditos («downlinks»), um por cada frequência portadora que o plano de tráfego da estação necessite. Emprega-se geralmente a dupla conversão, por exemplo, 4 GHz-700 MHz-70 MHz. A frequência intermédia de 70 MHz é desmodulada, e a banda de base resultante é desmultiplexada localmente, ou numa outra estação, após transmissão por feixe hertziano.

A estação dispõe também de malhas de igualização complexas na emissão, que se destinam a compensar o atraso de grupo e o dênfase, variável com o posicionamento dos canais que se pretendem receber face à frequência da portadora do repetidor.

Uma vez que a transmissão se efectua em MF, o limiar do receptor (isto é, do desmodulador) vai estabelecer um limite inferior para o sinal. Considerando a largura de faixa total dum repetidor (36 MHz), este limiar é da ordem de − 108 dBW. Este valor pode ser melhorado de 6-10dB pela utilização de receptores com realimentação em MF. A diferença entre o nível do sinal de entrada, e o do limiar (neste caso 57 dB) terá de ser fornecida pelo ganho global da antena, e pelo preamplificador.

As dimensões da antena encontram-se contudo limitadas pelo seu custo (proporcional ao cubo da abertura), e pelas dificuldades que surgem no seu posicionamento automático preciso. Usam-se geralmente antenas parabólicas de 30 metros de diâmetro, com alimentação de Cassegrain, e montagem alt-azimutal; o seu ganho global é da ordem dos 60 dB a 4 GHz, e 63 dB a 6 GHz, com uma eficiência de 60-70 %.

A qualidade da estação receptora é aferida, por definição, através do factor de mérito G/T, que é a relação (dB) entre o ganho efectivo da antena a 4 GHz, e a temperatura total do ruído do sistema receptor. Encontram-se actualmente estabelecidos um valor mínimo de G/T igual a 40,7 dB/°K, e um valor mínimo de 57 dB para o ganho da antena. É possível que num futuro próximo a relação G/T exigida seja menor, o que permitirá, desde logo, diminuir a abertura da antena e reduzir proporcionalmente o custo da estação.

Para uma antena de 30 metros ,a temperatura de ruído total não deve ser superior a 85 °K para a altura limite de 5°. As contribuições principais são: ruído captado pela antena (40°K), galáctica, atmosférico e de reradiação em objectos próximos («spill-over»), perdas no sistema de alimentação (15°K), e temperatura de ruído do primeiro andar do preamplificador. Esta última contribuição é variável consoante o tipo de amplificador, e vai preencher a margem de temperatura de ruído disponível.

Deve ainda referir-se que o ruído atmosférico depende do percurso do feixe descendente na atmosfera: é máximo para pequenas alturas (limite 5°) e mínimo no zénite. A fuga do canal ascendente, de elevada potência, e que emprega a mesma antena, pode também contribuir para o ruído total do sistema.

A parte emissora, menos crítica, destina-se a fornecer os níveis já referidos de potência para o feixe ascendente. Utiliza-se um gerador modulado em frequência («uplink»), pelo sinal composto FDM/ /SSB proveniente do MUX por cada repetidor que se pretende atingir. A saída destes geradores é combinada e amplificada num único amplificador com um tubo de onda progressiva; as potências de saída típicas, variáveis com o número de canais, podem ir até 150-200 W, supondo perdas na alimentação da antena da ordem dos 3 dB. No caso da transmissão dum canal de TV, geralmente efectuado numa frequência fixa, e com uma taxa de ocupação pequena, há vantagem em empregar um emissor separado, com a largura de faixa necessária. As perdas adicionais dos circuitos de acoplamento à antena (típico 10 dB), fazem com que a potência de saída usual destes emissores seja de 3-4 KW, correspondentes a 300-400 W fornecidos à antena. Neste tipo de emissores emprega-se geralmente um clistrão de potência no andar final.

Uma vez que o tubo de onda progressiva do emissor telefónico é fortemente sujeito a distorção por intermodulação (IMD), assim como o do repetidor espacial, tem de haver o maior cuidado na exploração da estação terrestre em assegurar a potência de saída correcta, caso contrário o repetidor ficará com um nível de intermodulação exagerado.

Note-se que a estação terrestre não necessita de se encontrar na terra firme; alguns navios dispõem já de estações que permitem a utilização simplificada e restrita de satélites de comunicações, recentemente lançados (MARISAT). Por outro lado, a próxima geração de satélites (Intelsat V) permitirá o emprego de estações terrestres móveis ou portáteis operando na faixa dos 11-14 GHz, já que as antenas terão menor abertura para o mesmo ganho, e os repetidores espaciais disporão de maior potência de saída. Encontram-se já construídas estações deste tipo para organismos internacionais de assistência e cooperação (Cruz Vermelha, ONU, etc.). Está ainda prevista a transmissão directa de programas de televisão.

— Sistemas de exploração

A utilização actual dum satélite é da ordem dos 85 % para o tráfego telefónico, telegráfico e de dados, e 15 % para televisão e outros serviços especiais; quer dizer, a maior parte do tráfego refere-se a um número elevado de canais com pequena largura de faixa. O sistema de exploração empregue nestas circuntâncias é o FDMA, já referido. São possíveis para cada repetidor diversos arranjos, con-

soante a capacidade de tráfego de cada utilizador. Alternadamente, podem transmitir-se um ou dois canais de vídeo (TV) de 17 MHz de largura de faixa cada, correspondentes a 6 MHz de banda de base; neste caso, o som é transmitido intercalado, e mais frequentemente em canais telefónicos separados.

No sentido de aumentar a capacidade equivalente, começou-se a empregar recentemente o TDMA («Time division multiple acess»).

Neste sistema, cada repetidor é explorado por uma portadora de cada vez, enviando às estações interessadas os seus sinais de modo intercalar. Este sistema, que é análogo ao TDM nas ligações terrestres, exige um relógio para marcação dos instantes de acesso muito preciso, e equipamento terminal nas estações terrestres relativamente complexo. Tem a vantagem de não produzir distorção por intermodulação, uma vez que só uma portadora é que está presente de cada vez. Por este motivo, pode concentrar-se toda a potência de saída do receptor numa só frequência, melhorando-se assim as condições de recepção na estação terrestre.

Uma outra técnica, em fase actual de estudo, é o DSI («digital speech interpolator»), que permite utilizar, em exploração intercalada, as pausas que se verificam sistematicamente em cada direcção numa comunicação telefónica.

Para estações de pequeno tráfego ,utiliza-se a exploração em SPADE, que consiste na ocupação temporária dum ou mais canais, apenas enquanto durar a utilização, ficando doutra forma vagos para outros utilizadores do sistema; a taxa paga só incide no tempo de utilização.

Este sistema, que inclui a transmissão por PCM dos canais telefónicos da sinalização, e da procura sequencial de canais vagos, exige contudo equipamentos terminais complexos, e apesar do custo da exploração ser económico, só permite contactos com estações que utilizem também o SPADE. No satélite Intelsat IV-A, um dos repetidores de cobertura destina-se ao SPADE, e outro à transmissão de TV.

— Vantagens e inconvenientes

As principais vantagens da utilização por satélite são: a sua extrema fiabilidade (tipicamente 99,9 %), e o aumento da capacidade de tráfego sem grandes investimentos adicionais, ao contrário do que acontece nos cabos submarinos. A fiabilidade é aumentada, porque cada satélite operacional tem na sua vizinhança um outro de reserva; as estações terrestres têm planos de contingência, renováveis, que permitem alterar rapidamente a orientação da antena e a redistribuição dos canais em caso de avaria num dos satélites. O aumento de capacidade pode efectuar-se mediante a aquisição de blocos receptores («downlinks») ou emissores («uplinks») adicionais, e de unidades de multiplexagem (MUX), que são de custo muito reduzido face ao investimento inicial da estação terrestre (cerca de 180 000 contos actuais).

Podemos também estabelecer comunicações com países geograficamente dispersos, ao contrário do que sucede em regra com o cabo submorino.

A transmissão de televisão é outra grande vantagem, já que o cabo não tem a capacidade, nem a igualização necessárias.

Os principais incovenientes são: a vida limitada de cada satélite (5-7 anos) a tecnologia cara, o estabelecimento de alterações constantes nos planos de exploração, e a manutenção complexa, que exigem pessoal e meios técnicos muito especializados. Do ponto de vista da exploração, o satélite exige o pagamento permanente e independente do tráfego, da taxa de aluguer do segmento espacial à entidade directora (Intelsat), enquanto que o cabo submarino se pode amortizar completamente.

Contudo, o balanço é nitidamente favorável ao satélite; a actual repartição do tráfego a 50 % entre estes dois meios de comunicação não tardará, segundo as melhores previsões, a desfazer-se com vantagem para o satélite.

— Participação nacional

Portugal dispõe, desde 1974 duma estação terrestre que utiliza duas portadoras com a capacidade actual de 96 canais telefónicos cada, que permite o estabelecimento de circuitos telefónicos, telegráficos, e de televisão com: África do Sul, Angola, Argentina, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Moçambique e Venezuela. Utiliza para este tráfego duas portadoras, uma para um repetidor direccional E, outra para um repetidor global do satélite Intelsat IV-A.

A curto prazo, está prevista a abertura duma estação terrestre nos Açores (Ponta Delgada).

— Outros serviços com satélites de comunicações

A utilização de satélites para comunicação não se limita ao escoamento do tráfego internacional em acesso múltiplo embora seja essa a sua aplicação mais importante: alguns países (por exemplo os Estados Unidos, Canadá, União Soviética, etc.) dispõem de satélites para comunicações internas ou domésticas.

Num certo número de casos, podem utilizar-se aqueles satélites para serviços especiais, como o de assistência médica remota, ajuda à navegação ou a aeronaves, etc.

Outros satélites contêm pequenos emissores de televisão que permitem a recepção directa para fins educacionais, como o satélite ATS-6 na União Indiana. Para lá dos satélites para fins meteorológicos, em serviço há mais de 15 anos, merecem especial referência os destinados à prospecção geológica (água, petróleo, minerais, etc.), que trabalham pela análise de imagens fotográficas, ou dos ecos de radar, e os empregues no levantamento cartográfico, que constituem a única solução para o levantamento de mapas em regiões de muito difícil acesso. De salientar o lançamento recente da 1.ª rede de satélites para comunicações com navios (MARISAT), gerida pela INTELSAT.

Betão normal reforçado com armadura metálica

J. M. MADEIRA COSTA
Engenheiro Civil

(Continuação da Técnica 448)

10 — FISSURAÇÃO E PRÉ-ESFORÇO

10.1 — Considerações Gerais

1 — Verifica-se que a abertura da *«fenda visível»* é da ordem de 0,02 a 0,03 mm (ver frase final do Cap. 2). Esta abertura é somente de cerca de 1/5 a 1/3 da abertura da menor *«fenda aceitável»* que é como se sabe, da ordem de 0,10 mm;

2 — À *«fenda visível»* correspondem, normalmente, conforme (4.23) ou (4.42), tensões, na armadura colocada junto à face traccionada do elemento, da ordem de 1100 kgf. cm^{-2}, desde que o afastamento entre fendas (df_r) seja da ordem de grandeza de, digamos, 8 a 13 cm;

3 — Dado que a equação (4.23) é segura, na medida em que se reduziu a contribuição do termo $\left(10\frac{A_b}{A_a}+160\right)$, é de esperar que a *«fenda visível»* se estabeleça somente para tensões da ordem de 1200 kgf. cm^{-2}, ou ainda maiores;

4 — Em betão armado pré-esforçado (B.A/P), dado que, parte apreciável das cargas permanentes é suportada pelo pré-esforço (sobretudo enquanto se não processarem todas as perdas de pré-esforço), é de esperar com mais razão, que a *«fenda visível»* só se estabeleça para tensões da ordem de 1200 kgf. cm^{-2}, ou maiores;

5 — Sucede também, como é confirmado por ensaios de diferentes autores, que à abertura das referidas fendas *(«fenda visível»)* corresponde a *inflexão* dos diagramas «flechas/momentos» ou «rotações/ /momentos», no primeiro ou primeiros carregamentos, a que se submete o elemento;

6 — Nas secções com pré-esforço é necessário atender às considerações que antecedem o Quadro 5.2. Com efeito, quando num ensaio experimental, se pretende determinar pelas equações (5.48), (5.49) e (5.50) a tensão $\underline{\sigma_a}$ correspondente a uma fenda, uma vez que $\sigma_{p\infty}$ é inferior ao valor real da tensão na armadura ($\underline{\sigma_{pd}}$) na descompressão, resulta $\underline{\sigma_a}$ normalmente maior que os valores acima indicados de 1100/ /1200 kgf. cm^{-2}. Esta diferença dependerá, naturalmente, da posição da armadura de pré-esforço e da % da armadura de pré-esforço (k_{ap});

7 — Pequenas variações (2 a 3 %) na consideração da tensão $\underline{\sigma_{p\infty}}$ não têm incidência significativa no estudo da rotura e na determinação da quantidade de armadura, mas podem ter repercussões sensíveis no comportamento das secções à fendilhação. Com efeito, 2 a 3 % de tensões, da ordem de 10 000 kgf. cm^{-2}, correspondem a variações de tensão na armadura da ordem de 200 a 300 kgf. cm^{-2}, que já tem influência significativa na fissuração;

8 — Para tensões maiores que os valores indicados (1100/1200 kgf. cm^{-2}) as fendas estabelecem-se, em espaçamento e abertura, aproximadamente de acordo com a teoria estabelecida no Capítulo 4. Refere-se, no entanto, que, os estribos, sobretudo quando situados muito junto às superfícies exteriores dos elementos têm um efeito localizador da fissuração, perturbando de certo modo a normal localização da fendilhação;

9 — Naturalmente, para momentos $\underline{M_s}$ inferiores ao momento de descompressão $\underline{M_d}$, não haverá propensão à abertura de fendilhação;

10 — As *«primeiras fendas»* (ainda não visíveis) só se estabelecem para *o maior* dos seguintes momentos:

— momento que estabelece na secção tensões de tracção no betão, equivalentes à tensão de rotura do betão à tracção;

— momento que, aberta a fenda, estabeleceria na armadura uma tensão $\underline{\sigma_a}$ tal que o termo $\left(\sigma_a - 10\frac{A_b}{A_a} - 160\right)$ da expressão (4.22), resultasse maior que zero.

Para valores de $\frac{A_b}{A_a}$ entre 30 e 60 aquela relação fornece valores de $\underline{\sigma_a}$ de 460 a 760 kgf. cm^{-2}, para aquele limite;

11 — Mesmo depois de aberta a fendilhação, para tensões σ_a da ordem de grandeza indicada (500/600 kgf. cm^{-2}), não são de esperar *«fendas de referências»* de abertura superior a 0,02 mm ($\omega_r = 0{,}48 \times 500 \times \times 10 \times 10^{-2} = 0{,}02$ m/m), ou seja, da ordem de grandeza da fenda que se tem designado por *«fenda visível»*, dado que se desprezou toda a contribuição do betão;

* * *

12 — Tem-se assim, que se podem estabelecer as seguintes fases caracterizadoras do comportamento de uma secção de B.P. ou B.A/P, do ponto de vista da fissuração:

12.1 — Para momentos M_s inferiores a M_d não haverá propensão a fendilhação;

.2 — Mesmo para momentos M_s superiores a M_d, mas para tensões de tracção no betão σ_{bi} até à tensão de rotura do betão (20/30 kgf. cm^{-2}), ou na armadura, inferiores a 500/600 kgf. cm^{-2}, quando calculada em «Fase II», não haverá propensão a qualquer fendilhação;

.3 — A partir destes limites pode estabelecer-se a fendilhação que só se tornará, no entanto, «visível» para tensões na armadura da ordem de 1100/1200 kgf. cm^{-2};

.4 — Por outras palavras, mesmo aberta a fendilhação esta será invisível para tensões na armadura (calculada em Fase II) compreendidas entre valores da ordem de, digamos, 600 a 1200 kgf. cm^{-2};

.5 — A partir destes valores da tensão σ_a na armadura, estabelece-se a *«fendilhação visível»*.

.6 — A teoria exposta no Capítulo 4, explica, com aproximação razoável, o fenómeno da fendilhação (desde que a armadura seja constituída por aços rugosos ou canelados e o betão bem executado). Assim, para tensões na armadura da ordem de 1400/ /1500 kgf. cm^{-2} é de esperar que a *fenda máxima* não exceda o valor de:

$$\omega^* = 1{,}7\ (0{,}48 \cdot \sigma_a - 240) \times 10 \times 10^5 = 0{,}08 \text{ mm};$$

fenda que é aceitável, regulamentarmente, mesmo em ambientes agressivos.

Mesmo na situação extrema em que não houvesse qualquer contribuição do betão, obtinham-se valores que não excederiam a ordem de grandeza de:

$$\omega^* = 1{,}7 \times 0{,}48 \times \sigma_a \times 10 \times 10 = 0{,}12 \text{ mm}$$

.7 — Os valores anteriormente obtidos pressupõem que se respeitaram as restantes condições em que se apoiou a determinação das expressões do Cap. 4, nomeadamente no que se refere a $\frac{A_b}{A_a}$ e $\acute{o}$. Ver relações 4.23 e 4.24.

.8 — Mostra a experiência que a inflexão dos diagramas «flechas/momentos» ou «rotações/momentos» se dá com o aparecimento das *«fendas visíveis»*, num primeiro, ou primeiros, carregamentos;

* * *

13 — Existe diferença sensível entre o comportamento de uma secção, num primeiro carregamento (em que o elemento ainda se não encontra fendido), e nos carregamentos subsequentes.

Estas diferenças de comportamento são resultantes da alteração das secções devido à abertura da fendilhação e ao ***estabelecimento da zona de comprimento*** «e» referido na fig. 4.1.

14 — Em secções de «betão armado pré-esforçado», em **carregamentos subsequentes aos primeiros**, a inflexão dos diagramas «flechas/momentos» ou «rotações/momentos» vem normalmente a estabelecer-se para momentos inferiores a M_d. Este facto, deve-se essencialmente ao estabelecimento da zona de comprimento «e» da fig. 4.1. Grande parte dos autores consideram erradamente, a nosso ver, esta situação de inflexão, como a situação de descompressão. A realidade é que, devido aos efeitos do coeficiente de «Poisson» do aço e do betão, (efeitos que, neste caso, são aditivos) a partir de determinado momento M_s, a zona de comprimento «e» fica como que liberta, funcionando a armadura, nesta zona, praticamente sem ligação ao betão, provocando a inflexão dos diagramas «flechas/momentos» ou «rotações/momentos» para momentos menores que M_d. O ponto de inflexão destes diagramas desce assim, do ponto referido em (12.8) até momentos inferiores a M_d, com a repetição dos ensaios e à medida que, devido a esta repetição, a zona de comprimento «e» se vai definindo melhor. Nesta situação o comportamento da secção será semelhante ao de uma «ligação metálica aparafusada pré-esforçada», em que o diâmetro do parafuso seja ligeiramente inferior ao diâmetro do furo. Situação semelhante se passa, por exemplo, na ligação da cabeça de uma «biela».

10.2 — Problema Preparatório

O termo $\sigma_{p\infty}$ corresponde à tensão na armadura de pré-esforço após processadas todas as perdas.

O seu significado depende da forma como é determinado e, se se trata de *«post»* ou *«pré-esforço»*.

De qualquer forma, pequenas variações desta tensão (digamos 2 a 3 %), não têm, como já se referiu, incidência sensível, tanto do ponto de vista da obtenção da quantidade de armadura, como nas tensões no betão e mesmo no comportamento das secções à rotura.

Já no que se refere ao estudo da fendilhação, variações desta ordem, podem ter repercussões sensíveis no comportamento à fendilhação.

Importa assim, objectivar o seu significado, e o modo da sua obtenção.

* * *

Assim:

10.2.1 — Normalmente, são conhecidas, com aproximação aceitável, as forças introduzidas pelo macaco de pré-esforço e, daí, as respectivas tensões na armadura à saída do macaco, que designamos por, σ_{mac};

.2 — São estimáveis as perdas por atrito (σ_{at}), em cada secção;

.3 — São estimáveis as perdas de tensão devido à entrada das cunhas (σ_c);

.4 — São avaliáveis as perdas de tensão, devido à deformação instantânea do betão (σ_{db});

.5 — É assim possível obter as *«tensões iniciais»* em cada secção:

$$\sigma_{po} = \sigma_{mac} - [\sigma_{at} + \sigma_c + \sigma_{db}]$$

.6 — As tensões σ_{at}, σ_c, σ_{db} têm incidência diferente conforme se trata de «pré-esforço» propriamente dito (pré-esforço na mesa) ou «post-esforço». Assim, no primeiro caso, σ_{at} e σ_c não têm normalmente, incidência apreciável (são praticamente nulas);

No segundo caso (post-esforço) é o termo σ_{db} que tem normalmente menor incidência, e os dois restantes podem atingir valores apreciáveis.

.7 — As tensões σ_{po} vão-se reduzindo assintoticamente no tempo, devido à retracção e fluência do betão, e à relaxação das armaduras.

Subtraindo a σ_{po} estas perdas, obtém-se $\sigma_{p\infty}$;

$$\sigma_{p\infty} = \sigma_{po} - [\sigma_{re} + \sigma_f + \sigma_{rel}]$$

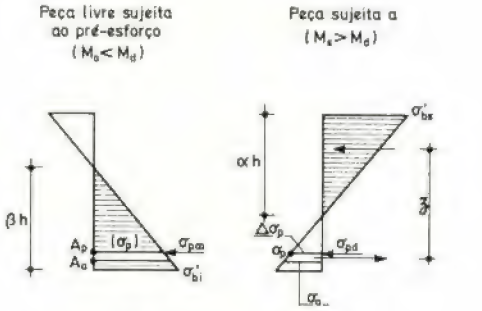
.8 — À tensão $\sigma_{p\infty}$ correspondem sempre, por definição, em B.P./total e, normalmente, em B.A./P. tensões de compressão no betão ao nível da armadura activa;

.9 — Com a aplicação de momentos sucessivamente crescentes, a tensão na armadura cresce, atingindo um valor, que designaremos por σ_{pd}, quando, ao nível da armadura activa, a tensão no betão é nula;

.10 — Seria este valor que devia ser considerado nas equações. No entanto, por segurança e simplificação, pode tomar-se normalmente, na prática, $\sigma_{p\infty}$.

.11 — No estudo da fissuração é o valor (σ_{pd}) que deve, contudo, ser considerado.

.12 — A fig. 10.1, esclarece estes aspectos e indica o modo, aproximado, de obter σ_{pd} a partir de $\sigma_{p\infty}$



$(\sigma_p) = -10 \cdot \frac{\beta - \gamma}{\beta} \cdot \sigma'_{bi}$ ....., com $\gamma = \frac{d + i_p}{h}$

$\sigma_{pd} = \sigma_{p\infty} + (\sigma_p)$

$\sigma_p = \sigma_{pd} + \Delta\sigma_p$ ..... betão em tracção ao nível da armadura activa

$\sigma_p = \sigma_{p\infty} + k(\sigma_p)$ ..... betão em compressão ao nível da armadura activa ($k \leq 1$)

σ_p - tensão real na armadura sob a acção do momento em estudo;

M_o - momento exterior instalado na secção no momento da aplicação do "pré-esforço";

M_d - momento de descompressão;

M_s - momento total instalado na secção.

Fig. 10.1

10.3 — Dimensionamento à «Fissuração»

Tem-se designado neste trabalho por:

— *«betão pré-esforçado total»* (B.P./total), a situação em que, praticamente, toda a armadura existente na secção é a armadura activa ($\omega_a \simeq 0$) e em que o momento de descompressão M_d é maior ou igual ao maior momento actuante, $M_d \geqslant M_s$;

— *«betão pré-esforçado»* (B.P.) quando essencialmente existe só armadura activa, mas $M_d < M_s$;

— *«betão armado pré-esforçado»*, B.A./P quando existe armadura activa (ω_p) e armadura passiva (ω_a);

— *«betão armado»* (B.A.) quando só existe armadura passiva.

No quadro seguinte visualizam-se, sinteticamente, as referidas situações.

O betão *«pré-esforcado total»*, embora cheio de aptidões e amplamente utilizado nos últimos anos exige que praticamente a totalidade das forças na armadura sejam introduzidas quando da execução da obra e que, a menos as «perdas», se mantenham permanentemente. Como por outro lado o braço do binário é menor em pré-esforço total, que nas situações em que se admite tracções no betão, aquelas forças são sempre apreciáveis.

Sujeita-se, assim, a estrutura, *permanentemente*, a esforços de pré-esforço somente necessários à solicitação mais desfavorável a qual, porventura, nunca actuará.

QUADRO RESUMO

	Simbolo	ω_p	ω_a	M_d ; M_s
Betão Pré-Esforçado Total...	B.P./ /total	$\neq 0$	$= 0$	$M_d \geqslant M_s$
Betão Pré-Esforçado	B.P.	$\neq 0$	$= 0$	$M_d < M_s$
Betão Armado Pré-Esforçado	B.A./P	$\neq 0$	$\neq 0$	$M_d < M_s$
Betão Armado	B.A.	$= 0$	$\neq 0$	$M_d = 0$

A situação anteriormente referida é agravada em estruturas «post-esforçadas».

Com efeito, nestes casos, quanto maior quantidade de «armadura activa» existir, *mais perfurado* ficará o elemento para dar passagem aos cabos e, ou se aumenta a geometria do elemento, ou se submetem as zonas entre cabos a elevadas tensões e, daí a deformações elásticas e de fluência elevadas.

Quando os esforços permanentes são reduzidos em relação às sobrecargas, a acção inicial dos cabos é praticamente *permanente* e constante induzindo na estrutura deformações crescentes ao longo do tempo, por efeito da fluência. Acontecendo ainda neste caso, (solicitações permanentes reduzidas) que frequentemente os esforços devidos ao pré-esforço induzem tensões de tracção na fibra oposta à armadura activa agravando os aspectos referidos, ou havendo necessidade de reduzir a eficiência do cabo localizando-o mais perto do c.g. da secção. Em secções rectangulares, sempre que o momento das solicitações permanentes seja inferior a valores da ordem de 0,42 do momento total, há que ter em atenção esta situação.

Em países, em que é hábito o uso de «pré» ou «post»-esforço elevado, vem-se tornando frequente a necessidade de correcção das obras que se deformaram demasiadamente ao longo do tempo devido a estes efeitos.

Por outro lado ainda, e como se verá em Capítulo próprio, o betão «pré-esforçado» e «pré-esforçado total» são, um tanto sensíveis às solicitações de carácter dinâmico; o «pulsar» das tensões no betão e no aço é elevado.

Pelo que se referiu, a utilização do betão armado pré-esforçado (B.A./P), mostra-se do maior interesse, e é possível, desde que as secções sejam dimensionadas «à fissuração». Isto é, sejam dimensionadas de modo que a «fenda esperada» não ultrapasse a «fenda admissível» a qual dependerá, naturalmente, do tipo de obra e do meio ambiente.

O aspecto económico, e o facto das secções disporem de armadura passiva em % significativa, e consequentemente com acção favorável nos fenómenos de retracção e fluência, jogam também, normalmente, a favor do «betão armado pré-esforcado», quando convenientemente dimensionado.

* * *

Um dimensionamento **«à fissuração»** pode fazer-se, como se tem referido, respeitando os princípios expressos no Capítulo 4; — isto é:

— limitando as tensões de tracção na armadura (σ_a); proporcionando a relação A_b/A_a; utilizando diâmetros convenientes.

No que se refere a diâmetros, é oportuno salientar que em «post-esforço» é o diâmetro da «manga», *se não houver outra armadura*, que irá reger, de certo modo, a fissuração. As expressões (4.13) e (4.22) traduzem bem o efeito negativo de tal facto.

* * *

A finalizar refere-se que:

— *As tensões de tracção instaladas no betão, só por si, pouco significado têm no comportamento das secções à fissuração.*

Com efeito, como se evidenciará seguidamente, em 10.4, por meio de exemplos, podem existir secções submetidas a elevadas tensões de tracção, sem propensão a fendilhação acentuada e, pelo contrário, secções submetidas a pequenas tensões de tracção, propensas a fendilhação exagerada.

10.4 — Comportamento à Fissuração. Exemplos

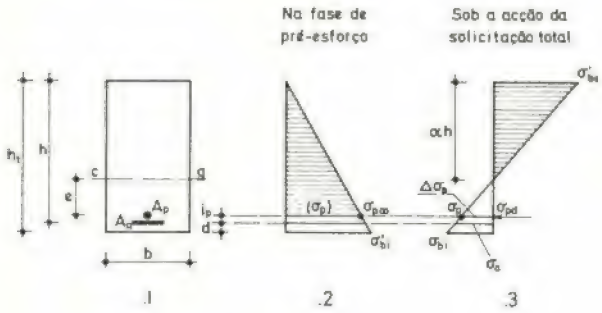


Fig 10.2

* * *

1 — Admita-se:

$$A_a = A_p \; ; \; \sigma'_{bs} = 155 \text{ kgf/cm}^2$$

$d = 0{,}07\,h$; $ip = 0{,}03\,h$; $\alpha = 0{,}68$; $\sigma_p = 11\,000$ kgf/cm² e que na fase de pré-esforço resulta o diagrama triangular indicado na fig. 10.2 (2).

a) Será:

$$\sigma_a = 15 \times \frac{155}{0{,}68} \times 0{,}32 = 1094 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_a = \frac{1094}{0{,}32} \times 0{,}29 = 992 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F_b = F_a = \frac{1}{2} \times 155 \times 0{,}68 \times bh = 52{,}7 \times bh$$

$$F_b = F_a = 11\,000\; A_p + 1094\; A_a = 12\,094.\; A_p$$

donde: $-\omega_p = \omega_a = \dfrac{A_p}{b.h} = \dfrac{52{,}7}{12\,094} = 0{,}436\ \%$

$$\frac{1}{2}\; \sigma'_{bi} \times 1{,}07\,bh = \sigma_{p\infty} \times A_p$$

$$\sigma'_{bi} = 1{,}87 \times 0{,}436\ \% \times \sigma_{p\infty} = 0{,}815\ \% \,.\, \sigma_{p\infty}$$

$$(\sigma_p) = 15 \times \frac{\sigma'_{bi}}{1{,}07} \times (1 - 0{,}03) = 13{,}6\; \sigma'_{bi}$$

$$\sigma_{p\infty} = 11\,000 - 992 - (\sigma_p) = 10\,008 - (\sigma_p) =$$

$$= 10\,008 - 13{,}6 \times 0{,}815\,.\,\frac{\sigma_{p\infty}}{100}$$

$$\sigma_{p\infty} \times 1{,}11 = 10\,008 \;\; ; \;\; \sigma_{p\infty} = 9009 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{bi} = -\frac{9009 \times 0{,}436 \times bh}{100 \times 1{,}07\,bh} - \frac{9009 \times 0{,}436bh \times 0{,}435\,h \times 6}{100 \times bh^2 \times 1{,}07^2} + \frac{6\; M_s}{1{,}07^2\,.\,bh^2}$$

$$\sigma_{bi} = -126 + 5{,}24\,.\,\mu_s$$

$$M_s = \omega_p\,.\,bh\,.\,1094 \times 0{,}773\,h + \omega_p\,.\,bh\,.\,11\,000 \times 0{,}743\,h;$$

$$\mu_s = \omega_p \times 9018 = 39{,}3;$$

$$\sigma_{bi} = +\,\mathbf{80} \text{ kgf.cm}^{-2}$$

b) — Verificacão «à fissuração»

$\sigma_a = 1094$ kgf.cm^{-2}. Admitindo $\phi = 1{,}0$ cm;

$$\frac{A_b}{A_a} = \frac{(0{,}32 + 0{,}07)\,bh}{2 \times 2 \times 0{,}436\,bh} \times 100 = 22$$

$$\omega^* = 2{,}0\;(0{,}48 \times 1094 - 240) \times 1{,}2\,.\,\sqrt{22} \times 1{,}0 \times \times 10^{-5} = 0{,}03 \text{ mm}$$

c) — Armdura necessária em «Pré-Esforço total»

$$M_s = \sigma_{pd} \times A_p \times (1{,}07 - 0{,}07 - 0{,}03 - \frac{1}{3} \times \times 1{,}07)h = \sigma_{pd} \times A_p \times 0{,}613\,h$$

$$\mu_s = 0{,}613 \times \omega_p \times \sigma_{pd} \; ; \; \sigma_{pd} = 11\,000 - - 992 = 10\,008 \text{ kgf.cm}^{-2} \; ;$$

Para $\mu_s = 39{,}3$, daria $\omega_p = 0{,}641\ \%$

$$k = \frac{0{,}436}{0{,}641} = \mathbf{0{,}68}$$

Para esclarecimento do significado de $\underline{k_p}$ ver também (6.9).

d) — *Conclusão*

No exemlo apontado foi possível, utilizando somente cerca de **0,68** da armadura necessária em pré-esforço total, armar a secção com muito pequena propensão à fissuração, muito embora as tensões teóricas, é de certo modo reais, de tracção no betão atinjam valores da ordem de + **80** kgf.cm .

* * *

2 — Pelo contrário, podem estabelecer-se **inúmeras** situações em que, apesar das tensões de tracção no betão serem relativamente reduzidas, existe propensão a fissuração de abertura significativa.

a) Admita-se, por exemplo:

$$A_a = 0;\ \sigma'_{bs} = 80\ \text{kgf. cm}^{-2};\ \alpha = 0{,}40$$

$$d = 0{,}07\ h;\ ip = 0{,}03\ h;\ \sigma_p = 11\,000\ \text{kgf. cm}^{-2}$$

Será:

$$\Delta\sigma_p = 15\,\frac{80}{0{,}4} \times 0{,}57 = 1710\ \text{kgf. cm}$$

$$F_b = F_a = \frac{1}{2} \times 80 \times 0{,}40\ bh = 16{,}0.bh$$

$$F_b = F_a = 11\,000\ .\ A_p$$

donde: $\omega_p = \dfrac{A_p}{bh} = 0{,}146\ \%$

Se, $(\sigma_p) = 15 \times 40 = 600\ \text{kgf. cm}^{-2}$; é:

$$\sigma_{p\infty} = 11\,000 - 1710 - 600 = 8690\ \text{kgf. cm}^{-2}$$

$$\sigma_{bi} = -\frac{8690 \times 0{,}146\ bh}{100 \times 1{,}07\ bh} - \frac{8690 \times 0{,}146\ bh \times 0{,}435\ h \times 6}{100 \times 1{,}07^2 \times bh^2} + 5{,}24\ .\ \mu_s$$

$$\sigma_{bi} = -40{,}8 + 5{,}24\ .\ \mu_s$$

$$M_s = \omega_p\ .\ bh\ .\ 11\,000 \times 0{,}837\ h;\ \mu_s = 13{,}4$$

donde: $\sigma_{bi} = +\ 29{,}6\ \text{kgf. cm}^{-2}$

b) — Verificação à fissuração

$$\Delta\sigma_p = 1710\ \text{kgf. cm}^{-2}$$

$\dfrac{A_b}{A_a} = \dfrac{(0{,}60 + 0{,}07)\ bh}{2 \times 0{,}146\ bh} \times 100 = 229$; esta relação é muito grande (ver fig. 3.1), resultando a distribuição da fissuração muito aleatória e podendo a abertura das fissuras atingir valores da ordem de:

$$\omega_{max} = 1710 \times 10^{-2} = 0{,}17\ \text{mm}.$$

c) — Em «pré-esforço total» seria necessária a seguinte armadura:

$$\mu_s = 0{,}613\ .\ \omega_p\ .\ \sigma_{pd}\ ;\ \omega_p = 0{,}199\ \%;$$

donde:

$$k_p = \frac{0{,}146}{0{,}199} = 0{,}73$$

d) — *Conclusão:*

Nesta situação embora se tenha utilizado maior % relativa de pré-esforço ($\mathbf{k_p = 0{,}73}$), a secção é **propensa** a fissuração acentuada apesar das tensões de tracção teóricas não excederem $+\ \mathbf{30}\ \text{kgf. cm}^{-2}$, *valor frequentemente permitido pelos regulamentos e recomendado por diversos autores.*

10.5 — Critérios Gerais de Dimensionamento «à Fissuração»

Referiu-se anteriormente que é possível dimensionar uma secção de modo que a fissuração se limite a valores aceitáveis e controláveis.

Estes critérios permitem utilizar menor quantidade de armadura activa, quando se compara com o betão pré-esforçado total, e conferem às secções características vantajosas.

Os referidos critérios apoiam-se na teoria exposta no «Capítulo 4» e que, resumidamente, são os seguintes:

— limitar as tensões $\underline{\sigma_a}$ e/ou $\underline{\Delta\sigma_p}$, calculadas em «Fase II»;

— proporcionar a relação A_b/A_a de modo que o seu valor seja da ordem de 20 a 80;

— utilizar armadura de reduzido diâmetro para diminuir o espaçamento entre fissuras e envolver convenientemente os estribos para evitar a propensão das fissuras se localizarem nestas zonas.

Em contraposição salienta-se que a limitação das «tensões de tracção» teóricas no betão (calculadas em «Fase I») como tem sido hábito, pouco significado tem além de certos limites.

Estas tensões só poderão ter contrapartida significativa se se limitarem a valores abaixo das tensões de rotura do betão por tracção. No entanto, se acidentalmente, alguma fissura abrir, esta será regida pelas leis expressas no Capítulo 4. Por vezes, reduzidas tensões de tracção tem repercussões desfavoráveis devido, a que desse facto, aumenta o espaçamento entre fendas, aumentando a abertura das que se estabelecem no elemento.

* * *

Para dimensionar uma secção «à fissuração» podem utilizar-se vários critérios.

Por exemplo:

1 — Fixar as tensões σ_a ou $\Delta\sigma_p$ (calculadas em «Fase II»); determinar a armadura A_p e jogar com a armadura A_a, o seu diâmetro e distribuição na secção, de modo a que a fissuração seja aceitável. Parece ser recomendável que $A_a \geqslant 0{,}25\ A_p$;

2 — impor uma determinada % do pré-esforço necessário em pré-esforço total, por exemplo $k_p = 0{,}75,\ 0{,}80,\ 0{,}85...$
Determinar A_a, σ_a e $\Delta\sigma_p$, os diâmetros de A_a e a sua distribuição na secção, de modo a respeitar a fissuração aceitável. Como anteriormente, parece ser recomendável que $A_a \geqslant 0{,}25\ A_p$;

3 — impor que a distância do «centro de pressão» à fibra mais comprimida seja uma dada % da distância do extremo do «núcleo central» àquela fibra;

4 — outros critérios são possíveis...

— O segundo critério, embora mais trabalhoso, permite impor que o pré-esforço utilizado satisfaça a determinados requisitos; por exemplo, que o momento devido a solicitações permanentes M_p seja menor ou igual ao momento de descompressão, $M_p < M_d$.

— O terceiro critério é especialmente apto e eficiente a ser utilizado em programas de cálculo automático e permite avaliar, de modo muito directo, a opção tomada.

10.6 — Exemplos de Secções dimensionadas à «Fissuração»

Para evidenciar os aspectos atrás referidos e a finalizar este capítulo, apresenta-se seguidamente, sob forma gráfica, o dimensionamento de secções rectangulares, em pré-esforço total, em betão armado pré-esforçado e em betão armado. Não se considerou a existência de armadura de compressão.

* * *

10.6.1 — No exemplo apresentado em betão armado pré-esforçado, adoptou-se $k_p = 0{,}77$ (ver 6.9). Por simplificação e segurança considerou-se $\sigma_{p\infty}$ em vez de σ_{pd} e tomou-se $\sigma_{p\infty} = 10\,000$ kgf. cm^{-2}, tanto no exemplo em betão armado pré-esforçado como em pré-esforçado total.

Os diagramas apresentados podem ser utilizados para «ante-projecto» com a segurança habitual.

Em betão armado pré-esforçado (B.A./P) apresenta-se separadamente o diagrama correspondente à % da armadura activa (ω_p) e à % total ($\omega_p + \omega$); assim para determinar a % de armadura passiva (ω_a) haverá que substrair os valores do 2.º diagrama dos do 1.º diagrama.

Sobre cada diagrama apresenta-se a tensão no betão na fibra mais comprimida (σ'_{bs}), em kgf. cm^{-2}.

As fendas de referência (ω_r) foram determinadas de acordo com os princípios expressos no Cap. 4 e admitindo as seguintes condições:

$$\left(\frac{b_o}{n} - \frac{\phi}{4}\right) = 8 \text{ cm}$$

$$\phi = 1{,}6 \text{ cm}$$

$$h > 45 \text{ cm}$$

Para outros valores seriam obtidos, naturalmente, valores diferentes de ω_r mas de ordem de grandeza não muito diferente.

Com aqueles valores, obtém-se:

$$\omega_r = (0{,}48 \,.\, \sigma_a - 240)\ d_{fr} \times 10^{-2} \text{mm}$$

sendo, $d_{fr} = \sqrt{13 \,.\, \phi} \,.\, \sqrt{\left(\frac{b_o}{n} - \frac{\phi}{4}\right)} = 12{,}9$ cm,

obtém-se:

— em betão armado com $\sigma_a = 1400$ kgf/cm², $\omega_r = 0{,}06$ mm;

— em betão armado com $\sigma_a = 2400$ kgf/cm², $\omega_r = 0{,}12$ mm;

— em betão pré-esforçado total $M_s \leqslant M_d$, $\omega_r = 0{,}00$ mm;

— em betão armado pré-esforçado com $k_p = 0{,}77$ e $\sigma_{p\infty} = 10\,000$ kgf/cm², verifica-se que:

para $\mu_s \leqslant 25 \ldots \omega_r = 0{,}00$ mm
» $\mu_s > 25 \ldots \omega_r \leqslant 0{,}02$ »

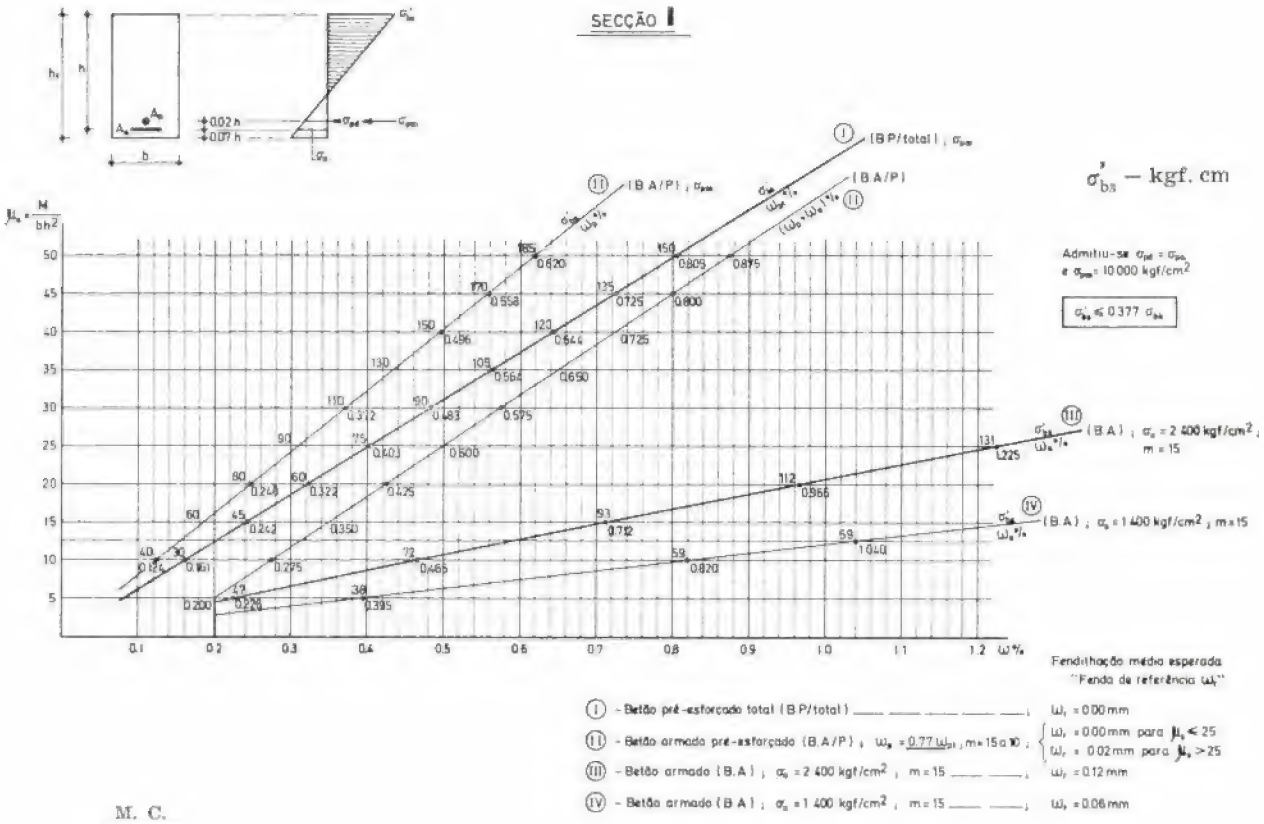
Em vigas altas, nas situações com propensão à fissuração, deve utilizar-se armadura de alma conforme indicado em (4.39), ou seja valores da ordem de:

$$A_a = 0{,}15 \,.\, b_o\ h \left[0{,}12\ (1-\alpha) - n \,.\, \frac{\phi}{h}\right]$$

— Em capítulo próprio, serão indicadas as aquações das rectas que, aproximadamente, traduzem, o comportamento das situações indicadas na Fig. 10.3.

— Conforme indicado em capítulos anteriores, para limitar a aleatoriedade de comportamento tanto do ponto de vista da «fissuração» como da «deformação» limitou-se, inferiormente, a % de armaduras a 0,2 %.

Seria possível, obviamente, estabelecer figuras semelhantes à Fig. 10.3 para outros valores de k_p, e outro tipo de secções; por exemplo secções T.



M. C.
1979

Fig. 10.3

* * *

10.6.2 — Apresentam-se seguidamente alguns exemplos de aplicação prática, utilizando figuras do tipo da Fig. 10.3.

Seja calcular uma secção rectagular submetida, por exemplo,a:

$$\mu_s = 10$$

.1 — Secção de betão armado (B.A.)

a) com $\sigma_a = 1400\,\text{kgf/cm}^2$
da Fig. 10.3, tira-se: — $\omega_a = 0{,}820\ \%$;
$\sigma'_{bs} = 59\,\text{kgf/cm}^2$; $\omega_r = \sim 0.06$ mm;
$\sigma_{bk} \geqslant 2.65 \times 59 \geqslant 156\,\text{kgf/cm}^2$

b) com $\sigma_a = 2400\,\text{kgf/cm}^2$
$\omega_a = 0{,}465\ \%$; $\sigma'_{bs} = 72\,\text{kgf/cm}^2$;
$\omega_r = \sim 0{,}12$ mm; $\sigma_{bk} \geqslant 191\,\text{kgf/cm}^{-2}$

.2 — Secção de betão pré-esforçado total (B.P./ /total)
para $\sigma_{p\infty} = 10.000\,\text{kgf/cm}^2$, obtém-se:
$\omega_{pt} = 0{,}161\ \%$; $\sigma'_{bs} = 30\,\text{kgf/cm}^2$;
$\sigma_{bk} \geqslant 80\,\text{kgf/cm}^2$; $\omega_r = 0{,}00$ mm

.3 — Secção de betão armado pré-esforçado (B.A./P)
para $\sigma_{p\infty} = 10.000\,\text{kgf/cm}^2$, obtém-se:
$\omega_p = 0{,}124\ \%$ $(\omega_p + \omega_a) = 0{,}275\ \%$, donde
$\omega_p = 0{,}151\ \%$; $\sigma'_{bs} = 40\,\text{kgf/cm}^2$;
$\sigma_{bk} \geqslant 106\,\text{kgf/cm}^2$; $\omega_r = \sim 0{,}00$ mm.

Obs.: a ordem de grandeza das fendas de «referência» ω_r, foi obtida, como anteriormente referido, isto é, admitindo uma organização da secção tal que dfr = 12,9 cm.

* * *

10.6.3 — A armadura a utilizar II poderá ser «A 24»; recomenda-se, no entanto, a utilização de aços «A 40» sobretudo em elementos em que as perdas por atrito, ou outras, sejam difíceis de avaliar com precisão. Em qualquer caso, deverão ser utilizados varões rugosos ou canelados.

* * *

10.6.4 — As secções devem também ser verificadas à rotura. Este estudo será efectuado em capítulo próprio.

Refere-se, no entanto que, desde que se admita para extensão de rotura do betão valores da ordem de, $\varepsilon_b \geqslant 2{,}5\ ‰$ e $\sigma^*_b \geqslant 1{,}5\ \sigma_{bs}$, as secções indicadas na Fig. 10.3 satisfazem à rotura.

NOTA CIENTÍFICA N.º 1

A Virtude está nos extremos?

por LUIS VALADARES TAVARES *

1. Extremos para projecto

Quem analisar o desenvolvimento das ciências de engenharia nas últimas décadas pode encontrar em ramos e especialidades bem distintas alguns traços semelhantes de evolução nos quais avulta a consideração do objecto a projectar ou a gerir como um sistema que responde a solicitações exógenas, controláveis ou não, determinísticas, incertas ou aleatórias consoante a sua natureza e a extensão resultante das fronteiras atribuídas ao sistema, quer quanto aos atributos analisados, quer no que respeita ao seu desenvolvimento no espaço e no tempo. Esta formulação tem vindo a ser construída e prosseguida em domínios disciplinarmente muito afastados tais como o estudo do comportamento mecânico de certas estruturas, a definição das necessidades regionais de equipamento social, o projecto de sistemas hídricos com objectivos múltiplos, o controlo de processos químicos em reactores industriais, o desenvolvimento de sistemas para tratamento de minérios, o estudo de fenómenos de propagação na atmosfera, a gestão de linhas de produção, a modelização do ambiente, etc., não sendo de estranhar que, em cada caso, a linguagem, a experiência, os hábitos e a tecnologia característicos do ramo em causa marquem significativamente as formulações e as análises conseguidas. A dificuldade de comunicação interdisciplinar e o tardio aparecimento e divulgação de certas ciências tais como a Teoria dos Sistemas e a Investigação Operacional explicam que algumas das suas maiores potencialidades só tenham começado a ser convenientemente exploradas num passado recente que se tem mostrado útil para estes ramos pelo avanço teórico e metodológico alcançado, fecundo para as referidas ciências pelos novos problemas e desafios que têm sido levantados. Neste contexto, uma das questões que mais se tem evidenciado recentemente consiste na definição dos chamados extremos para projecto («design-extremes») isto é, em saber para que extremos das solicitações exógenas incontroláveis se devem conceber e dimencionar os sistemas a construir.

A importância crescente deste tema é facilmente justificável:

a) Alguns sistemas cuidadosamente produzidos pela mais moderna engenharia têm colapsado acarretando perdas humanas por vezes gravíssimas e prejuízos económicos quase sempre de elevado montante. Quem pode esquecer o espectacular desastre da barragem de terra de Teton [1] ou, citando um exemplo português de 1978, a destruição do molhe de Sines? Assim o «dimensionamento à segurança», isto é, o projecto em função de certos níveis de segurança não pode deixar de ser uma preocupação dominante.**

b) A escassez de meios de investimento disponíveis para o financiamento de grandes realizações rendíveis e úteis a médio e longo prazo tem vindo a tornar-se cada vez mais crítica muito especialmente nas regiões menos desenvolvidas e que portanto mais carecem de tais empreendimentos. Deste modo, a competitividade entre projectos alternativos e consequentemente a pressão forte sobre eles incidente no sentido de reduzir o respectivo custo inicial não perdoa coeficientes de segurança «extracálculo» ou extremos exagerados para as solicitações dominantes já que tais encargos são frequentemente funções sensíveis dos valores adaptados.

Sente-se pois com muita premência a necessidade de formular e resolver em termos científicos o referido problema da determinação dos extremos a utilizar para efeitos da concepção e projecto dos empreendimentos em estudo. Tendo em conta o carácter habitualmente incontrolável e não determinístico destas solicitações, a sua formulação tem de ser prosseguida com base na teoria do aleatório ou da incerteza pelo que se pretende reflectir seguidamente sobre alguns dos seus aspectos mais importantes.

2. O período de retorno

A formulação habitual baseia-se num conceito muito divulgado e utilizado em engenharia: o período de retorno, ET (L), que se pode associar à intensidade L da solicitação analisada X. É assim frequente encontrar referências do tipo «cheia centenária» ou «sismo de 500 anos» e pelo cálculo das probabilidades é simples mos-

---

* Professor agregado de Investigação Operacional do IST; Investigador do Centro de Sistemas Urbanos e Regionais da Universidade Técnica de Lisboa (CESUR); Professor convidado da Universi-dade de Columbia (E. U. A.).

Manuscrito recebido para publicação em 26/1/79.

** Esta nota foi escrita antes das dramáticas cheias de Fevereiro 79 que infelizmente vieram sublinhar a importância deste tema. Já que não foi possível evitar a tempo tão sérios danos humanos e graves prejuízos, espera-se que este caso seja utilizado como problema-exemplo a fim de que, através de necessárias investigações, se possam obter os ensinamentos e extrair as conclusões que permitam salvaguardar vidas e minorar prejuízos em anos futuros.

trar que ET (L)=1/(1-F (L)) sendo F (L) a f.c.d. da variável em estudo (e portanto (1-F (L)) a probabilidade de L ser excedida) desde que se meça ET (L) em unidades de tempo tais que a cada um seja possível associar um e um só ensaio da experiência aleatória para a qual X se define e admitindo a hipótese de independência entre resultados de ensaio distintos. ET (L) não é mais do que a média do intervalo de tempo (T (L)) entre ocorrências consecutivas da excedência ($X > L$) pelo que quanto mais importantes forem os efeitos de um eventual colapso (destruição ou não funcionamento, consoante os casos) do sistema a realizar e longa a sua vida prevista, V, tanto maior costuma ser o ET (L) imposto para fins de cálculo do extremo para projecto, L, através da fórmula já indicada.

Assim é bem sabido que T (L) é uma variável aleatória e que portanto por maior que seja o ET (L) fixado, o colapso pode sempre ocorrer antes do desejável... É interessante notar que esta verdade é profundamente incómoda pelo que em certos países e em alguns domínios se tem baptizado o L com adjectivos mais ou menos tranquilizantes referindo-se à conhecida designação PMP («Probable **maximum** precipitation») usada nos EUA para o projecto hidráulico. Pode afirmar-se que o valor de ET (L) é frequentemente fixado a sentimento, com base em **outros** regulamentos ou sugestões que por sua vez se baseiam noutros e assim sucessivamente, acabando-se mais cedo ou mais tarde por fundamentá-los na prática profissional, nos bons resultados assim obtidos e nos extremos razoáveis que deste modo se calculam. Em alguns casos o colapso a evitar não é a destruição do sistema mas sim a sua perda de funcionalidade a qual pode estar associada à ocorrência de excedências em número superior a um limite máximo (N) definido em função da sua vida (V). Nesta hipótese, a prática mais habitual consiste em adoptar uma vez mais a formulação anterior mas escolhendo um menor valor para ET (L), por exemplo próximo de $\frac{V}{N}$. Uma vez conhecidos os extremos para projecto há que conceber e determinar as configurações e caracterizações mais adequadas para os sistemas a realiza r tendo em conta o seu comportamento e as respostas pretendidas, o que é geralmente objecto dos métodos e das análises fortemente especializadas em cada ramo de engenharia.

3. Algumas perguntas incómodas

Todavia, e procurando reflectir apenas sobre o cálculo dos extremos para projecto, não é possível deixar de repensar alguns aspectos da formulação sumariamente apresentada surgindo assim algumas perguntas incómodas:

A — A análise apresentada implica que se discretize o tempo em unidades apropriadas afectando um ensaio da variável X a cada unidade de tempo «vivida» pelo empreendimento. Ora geralmente as solicitações reais ou são contínuas ou são definidas por sucessões discretas de variáveis interdependentes. Assim, em qualquer destes casos, a aplicação da formulação referida implica a definição de uma nova unidade de tempo, τ, suficientemente ampla para tornar desprezáveis tais interdependências definindo-se X como o extremo da solicitação, S, em cada intervalo de duração τ. Todavia, esta atitude tem o grave inconveniente de se reduzir drasticamente a informação utilizável para estimar F já que de cada unidade de tempo com duração τ apenas se toma o extremo de S. Note-se, porém, que esta perda de informação não é ditada pela natureza do problema mas sim pela necessidade de continuar a poder aplicar o modelo descrito. Entretanto, se é bem sabido que os erros associados à estimação de F podem depender fortemente da dimensão da amostra utilizada, será defensável continuar a ignorar grande parte da informação disponível apenas para poder manter a mencionada simplicidade de tratamento?

B — Procurando desprezar menos informação surge naturalmente a questão de saber como modelar a solicitação enquanto função contínua ou série discreta no tempo sendo eventualmente significativa a sua interdependência serial. Admitindo, por hipótese, que é possível desenvolver tais modelos é oportuno perguntar se ET (L) continuará a ser ou não o inverso da probabilidade de excedência.

C — Por vezes, as solicitações não têm carácter escalar, quer por representarem actuações projectadas em um espaço n-dimensional, quer por corresponderem ao conjunto finito de elementos actuantes sobre o sistema e, entretanto, o próprio comportamento deste pode não ser determinístico. Será correcto adoptar a atitude de simplificar esta situação considerando apenas os elementos mais críticos para a vida ou o comportamento do sistema e usar novamente a formulação referida?

D — Sendo patente a preocupação de rigor no tratamento dado à relação solicitação-resposta para numerosos sistemas importantes em diversos ramos de engenharia e tendo presente que o seu custo pode ser função sensível do ET (L) fixado, será aceitável continuar a defini-lo com base em fundamentos pouco claros e objectivos?

E — Como se salientou anteriormente, é inevitável aceitar um certo tipo de «competição» ao nível da selecção dos projectos e atribuição das respectivas prioridades pelo que se julga oportuno perguntar se os próprios níveis de segurança (ou fiabilidade, consoante os casos) não deverão depender também do comportamento da função custo do empreendimento (inicial ou não) em termos dos níveis adoptados.

Embora o objectivo deste artigo não seja o de tratar desenvolvidamente estes problemas julga-se útil apresentar algumas reflexões sobre as perguntas formuladas.

Quanto a A), a perda de informação cometida num estudo de extremos é geralmente bem manifesta pelo que algumas escolas científicas têm vindo a desenvolver alguns modelos baseados na Teoria dos Processos Estocásticos com o objectivo de reduzir tal desperdício.

Infelizmente grande parte dos resultados obtidos nesta teoria são condicionados pela hipótese de gaussianidade do processo a qual é frequentemente rejeitável para as grandezas em jogo, pelo que são raros os métodos ou modelos propostos que não implicam essa suposição [podem citar-se, porém, alguns exemplos de métodos e modelos não gaussianos: **[2]**, **[3]**, **[4]** e **[5]**].

No que respeita à segunda questão a sua resposta não é simples saindo claramente do âmbito deste artigo. Todavia é fácil demonstrar que para cadeias markovianas ET (L) é igual ao inverso da probabilidade limite de excedência calculada para o regime de «steady-state» e que nos regimes restantes ET (L) é ainda calculável através de um sistema linear de equações já não se recorrendo à referida probabilidade que não é então definível.

A terceira pergunta corresponde talvez à questão mais amplamente tratada na literatura havendo, porém, muitas dúvidas quanto ao carácter operacional e prático de certas soluções atendendo aos volumes de computação exigidos, aos números de parâmetros envolvidos, aos erros de estimação introduzidos. Como estudos de vanguarda elaborados no nosso País neste domínio citem-se **[6]** e **[7]**. Algumas generalizações do filtro de Kalman e a chamada teoria dos reservatórios múltiplos são ainda exemplos desta preocupação.

As quarta e quinta perguntas contêm implicitamente as suas respostas pois uma das preocupações características do método científico consiste em procurar ser **coerente** no grau de rigor adoptado nos diversos subproblemas formulados. Crê-se que com este objectivo pode ser salutar utilizar a **noção de probabilidade de sobrevivência** (na acepção de não colapso ou não perda da funcionalidade desejada) a qual é por vezes calculável. Se for possível atribuir a noção de valor às diversas consequências que podem ocorrer ou através de simples relações de ordenação preferencial ou pela definição de unidades de medida (com ou sem carácter monetário), é então aplicável a teoria da decisão **[8]** e alguns dos numerosos métodos de optimização **[9]** que têm vindo a ser aperfeiçoados recentemente. A viabilidade desta atitude é geralmente condicionada pelos volumes de informação disponível pelo que a possibilidade de ter em conta informações adicionais ou subsidiárias contribuirá certamente para o seu desenvolvimento, o que tem vindo a ser estudado através dos chamados métodos bayesianos **[10]** que têm conhecido apreciáveis progressos na última década.

Julga-se que em resultado das questões levantadas e da sua importância social e económica que se procurou sublinhar não é difícil concluir ser necessário procurar aperfeiçoar, num futuro próximo, aquilo que se poderá designar por «teoria geral das solicitações» não com o objectivo de apresentar modelos teóricos muito sofisticados mas sim com a preocupação de encontrar resposta objectiva para os problemas práticos mais importantes e difíceis. Até lá crê-se que não restam dúvidas que, se é difícil saber em que extremos está a virtude, é, pelo contrário, indiscutível concluir que é principalmente no engenheiro responsável pelo planeamento, concepção e projecto do empreendimento que terá de residir a **virtuosidade** de aplicar os modelos teóricos à sua prática profissional a fim de obter em tempo útil soluções correctas e económicas.

4. Bibliografia

[1] **J. Leginha Serafim**, 1977, «Desastres de barragens em 1976», «O caso de Teton», Técnica, n.º 443.

[2] **P. Todorovic**, 1978. «Stochastic models of extreme flows and their applications to design», Int. Symposium on Risk and Reliability in Water Recources, Univ. of Waterloo.

[3] **L. Valadares Tavares**, 1977, «Extremes of autocorrelated load model», ASCE, Journal of the Engineering Mechanics Division, 717-723.

[4] **L. Valadares Tavares**, 1977, «The exact distribution of extremes of a non-gaussian process», Journal of Stochastic Processes and Their Applications, p. 151-156.

[5] **L. Valadares Tavares**, «An exponential markovian process», a publicar proximamente.

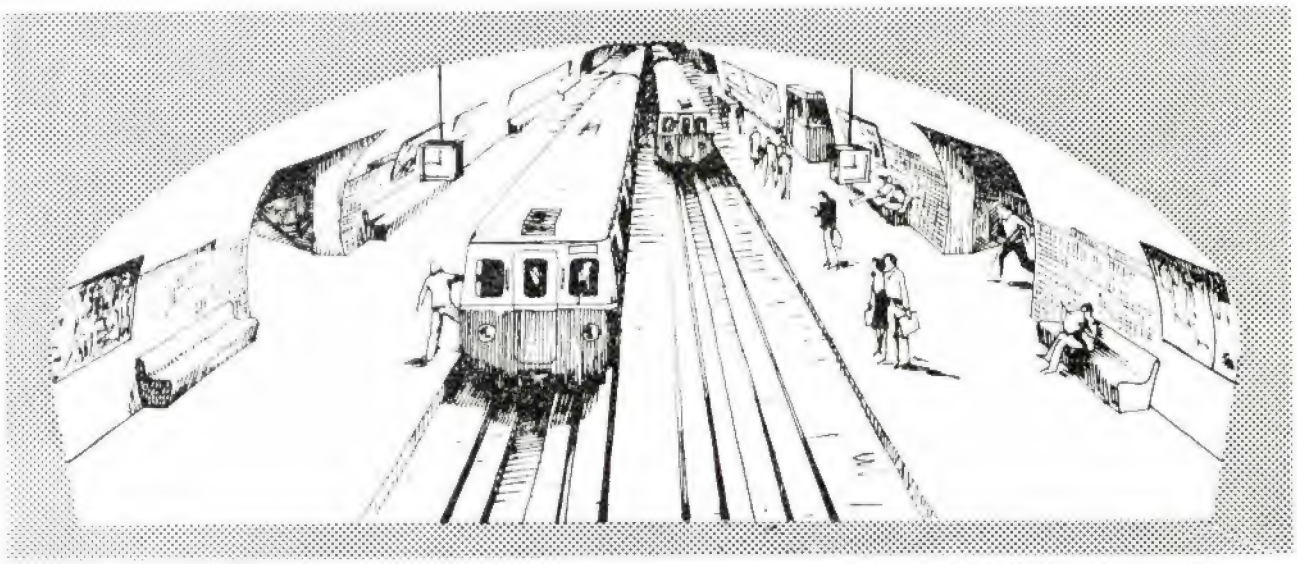
[6] **F. Vasco da Costa**, 1971, «Directional analysis in model design», ASCE, Journal of the Engineering Mechanics Division, p. 519-539. Ver também as discussões deste artigo por J. Gessler e E. O. Macagno, no jornal citado, Dez. 1971, p. 1746-1750.

[7] **J. Ferry Borges** e **M. Castanheira**, 1971, «Structural Safety», LNEC.

[8] **H. Raiffa** & **R. Schlaifer**, 1961, «Applied statistical decision theory», Harvard University Press.

[9] **Bradley, Hax** & **Magnanti**, 1978, «Applied mathematical programming», Addison-Wesley.

[10] **L. Valadares Tavares**, «Um contributo bayesiano para a teoria geral das solicitações», a publicar brevemente.



PARA:

ECONOMIZAR ENERGIA
COMBATER A POLUIÇÃO
POUPAR TEMPO
DEVOLVER AO PEÃO OS ESPAÇOS DE QUE CARECE

M METROPOLITANO

UMA SOLUÇÃO EFICAZ
NO DOMINIO DOS TRANSPORTES
COLECTIVOS URBANOS

METROPOLITANO DE LISBOA

TÉCNICA VI

NOTA CIENTÍFICA N.º 2

Sobre a determinação de raios de capilares de vidro

FERNANDO ALBERTO GONÇALVES
Professor de Química Geral e de Explosivos
Academia Militar, Lisboa, Portugal

A determinação do raio de um capilar de vidro pode ser feita **[1]** segundo dois métodos distintos:

1.º — Gravimétrico. Enche-se o capilar com mercúrio; o peso, P, deste líquido necessário para o efeito satisfaz à relação $P = \gamma \pi r_g^2 L$. γ é o peso específico do mercúrio à temperatura da experiência, L o comprimento do capilar, suposto inteiramente cheio de mercúrio, e r_g o valor do raio determinado por este processo.

2.º — Método da resistência eléctrica. Tal como no caso precedente enche-se o capilar com mercúrio e mede-se a resistência eléctrica deste, A relação $R = \rho L/\pi r_e^2$, em que ρ é a resistividade do mercúrio, permite determinar o valor do raio r_e.

Para verificar a constância do raio ao longo do capilar pode usar-se o método gravimétrico **[2]** ou a observação microscópica **[3]**.

Utilizando os dois métodos encontram-se geralmente valores algo diferentes para r_g e r_e. É razoável supor que o valor médio $r_m = (r_e + r_g)/2$ merece maior confiança que qualquer dos outros individualmente. Isso pressupõe que são de sinal contrário os erros δr_e e δr_g inevitáveis em qualquer dos métodos.

O fim da presente nota é chamar a atenção para que nem sempre é necessariamente assim, e, sobretudo, indicar qual é o método mais conveniente em cada caso concreto.

Na prática é preferível calcular o valor médio do raio a partir da expressão $\bar{r} = \sqrt{(r_e^2 + r_g^2)/2}$.

Utilizando o método gravimétrico os erros δL e δP inevitavelmente cometidos numa determinação de L e de P vão dar origem a um erro δr_g^2

$$\delta r_g^2 = \left(\frac{\partial r_g^2}{\partial L}\right)_P \delta L + \left(\frac{\partial r_g^2}{\partial P}\right)_L \delta P$$

ou

$$\delta r_g^2 = -\frac{r^2}{L}\delta L + \frac{r^2}{P}\delta P \qquad 1$$

No caso da utilização do método da resistência eléctrica, os erros δL e δR darão origem a um erro

$$\delta r_e^2 = \frac{r^2}{L}\delta L - \frac{r^2}{R}\delta R \qquad 2$$

Para que se verifique a condição desejável $\delta r_e^2 = -\delta r_g^2$, devem ser igual em módulo mas de sinal contrário as segundas parcelas dos segundos membros das equações 1) e 2), já que esta condição é sempre verificada pelas primeiras parcelas. Portanto deve ser

$$\frac{r^2}{P}\delta P = \frac{r^2}{R}\delta R \qquad 3$$

ou seja

$$r^4 = \frac{\rho}{\pi^2 \gamma} \cdot \frac{\delta P}{\delta R} \qquad 3'$$

relação que é independente do erro δL.

Os valores absolutos de δP e de δR não são conhecidos mas pode admitir-se que são da ordem de grandeza das reprodutibilidades observadas nas determinações de P e de R. Como medida das reprodutibilidades podemos tomar os desvios quadráticos médios das médias $\bar{P}$ e $\bar{R}$ de um número n suficientemente elevado de medições daquelas grandezas. Será, portanto,

$$\delta P \approx \sigma_P = \sqrt{\frac{\Sigma (P_i - \bar{P})^2}{n(n-1)}} \qquad 4$$

e

$$\delta R \approx \sigma_R = \sqrt{\frac{\Sigma (R_i - \bar{R})^2}{n(n-1)}} \qquad 4'$$

Trabalhando a nível profissional em laboratório medianamente equipado é possível reduzir os erros aos valores $\delta P \approx 0{,}0001$ g e $\delta R \approx 0{,}0001\ \Omega$. Servindo-nos ainda dos valores $\rho = 9{,}4.10^{-5}\ \Omega.$ cm e $\gamma = 13{,}6$ g. cm^{-3} é possível calcular o raio para o qual se verifica a condição $\delta r_e^2 = -\delta r_g^2$. Ter-se-á

$$r = \sqrt[4]{\frac{9{,}4.10^{-5}}{9{,}87.13{,}6} \cdot \frac{0{,}0001}{0{,}0001}} =$$

$$= \sqrt[4]{70{,}3.10^{-8}} = 2{,}9.10^{-2} \approx 3.10^{-2}\ \text{cm}$$

Para capilares de raio sensivelmente superior a 3.10^{-2} cm diminui o erro relativo

$$\frac{\delta r_g^2}{r^2} = -\frac{\delta L}{L} + \frac{\delta P}{P} \qquad 5$$

por diminuir a importância da segunda parcela do segundo membro. Mas aumenta o erro relativo

$$\frac{\delta r_e^2}{r^2} = \frac{\delta L}{L} - \frac{\delta R}{R} \qquad 6$$

por se tornar maior a contribuição de $\delta R/R$.

Passa-se o contrário para $r < 3.10^{-2}$ cm.

Assim, para capilares de vidro de raio superior a 3.10^{-2} cm é de preferir o método gravimétrico enquanto que para valores do raio inferiores a 3.10^{-2} cm o método da resistência eléctrica é mais preciso.

A utilização de balanças de melhores qualidades ($\sigma_P \approx 0{,}00001$ g, ou mesmo $\sigma_P \approx 0{,}000001$ g, por ex.) estende um pouco o domínio de preferência do método gravimétrico. O facto de a balança ser um instrumento de uso corrente e de preço muito mais acessível que o das pontes de Wheatstone de precisão contribui ainda para uma maior preferência pelo método gravimétrico.

Para verificar se $\bar{r} = \sqrt{(r_e^2 + r_g^2)/2}$ é sensivelmente independente de δL podemos servir-nos dos valores obtidos por Swindells e coll **[4]**. Por exemplo: Para o caso do capilar que estes autores designam por 2.5 obtiveram, a 20,00° C. L. = 48.736 cm. P = 1,31314 g e R = 2,235007 Ω, o que conduz a $r_e^2 = 6{,}3315_4\ 10^{-4}\ cm^2$ e $r_g^2 = 6{,}3314_6\ 10^{-4}$ cm^2, donde se calcula $\bar{r} = 2{,}5162.10^{-2}$ cm.

Utilizando valores de L inferiores ao determinado, isto é, supondo que se tinha cometido um erro por defeito na medição do comprimento, obtém-se para r_e^2 valores maiores que o real e para r_g^2 valores menores, efeitos que se compensam no cálculo de $\bar{r}$. Assim, utilizando um valor L = 48,636 cm obtém-se $r_e^2 = 6{,}3185_6.\ 10^{-4}\ cm^2$ e $r_g^2 = 6{,}3444_8.\ 10^{-4}\ cm_2^2$ mas tem-se igualmente $\bar{r} = 2{,}5162.10^{-2}$ cm. Utilizando o valor, errado por excesso, L = 48,836 cm ter-se-ia $r_e^2 = 6{,}3445_2.\ 10^{-4}\ cm^2$ e $r_g^2 = 6{,}3184_9.\ 10^{-4}\ cm^2$, mas seria ainda $\bar{r} = 2{,}5162.\ 10^{-2}$ cm. Conclui-se, portanto, que erros $\delta L = \pm 0{,}1$ cm ($\delta L/L \approx 0{,}1/48{,}7 \approx 0{,}2\ \%$, neste caso), muito superiores aos que se cometem em trabalhos apenas medianamente rigorosos, não introduzem qualquer erro na média $\bar{r}$.

Este estudo poderia também ser orientado procurando as condições que tornam iguais os índices de precisão

$$(\Delta r_g)^2 = \left(\frac{\partial r_g}{\partial L}\right)^2 (\Delta L)^2 + \left(\frac{\partial r_g}{\partial P}\right)^2 (\Delta P)^2 \qquad 7$$

$$(\Delta r_e)^2 = \left(\frac{\partial r_e}{\partial L}\right)^2 (\Delta L)^2 + \left(\frac{\partial r_e}{\partial R}\right)^2 (\Delta R)^2 \qquad 7'$$

A expressão encontrada seria $r = \sqrt[4]{\rho . \Delta P/\pi^2 . \gamma . \Delta R}$ equivalente à eq 3') dado que é legítimo supor $\Delta P/\Delta R \approx \delta P/\delta R$.

Quando o capilar é muito curto ou é muito grande a precisão requerida, pode ser necessário corrigir os efeitos terminais. Para o caso do método gravimétrico a correcção consiste em considerar que o mercúrio contido no capilar é constituído por um cilindro de volume $\pi r^2(L-2r)$ e por duas hemiesferas de volume $2\pi r^3/3$ cada, situação que se aproxima muito da realidade. L é o comprimento da coluna de mercúrio, incluídas as duas hemiesferas.

O volume, V, de mercúrio, de peso P e peso específico γ à temperatura da experiência **[6]** satisfaz à relação

$$V = \pi r^2(L-2r) + 4\pi r^3/3 \qquad 8$$

ou

$$P/\gamma = \pi r^2 L - 2\pi r^3/3 \qquad 8'$$

O cálculo das raízes desta equação do terceiro grau é um tanto trabalhoso, sendo preferível utilizar um método iterativo. Assim, introduz-se o valor aproximado $r_1 = +\sqrt{P/\pi\gamma L}$ na segunda parcela da eq. **8'**) que toma a forma

$$P/\gamma = \pi r^2 (L - 2r_1/3) \qquad 8''$$

e calcula-se r_2 a partir da expressão

$$r_2 = +\sqrt{P/\pi\gamma (L - 2r_1/3)} \qquad 9$$

Procede-se a novas aproximações que conduzem a valores r_3, r_4, ...r_i, terminando os cálculos quando $(r_{i+1} - r_i)/r_i < x$, sendo x a precisão requerida para o valor de r. Geralmente são necessárias poucas tentativas, podendo mesmo uma ou duas aproximações serem suficientes.

BIBLIOGRAFIA

[1] — J. F. Swindells e col. — J. of Res. of the N. B. S. **48**, 12 (1952).

[2] — Alexandre Findlay — Practical Physical Chemistry, Longmans, Londres, 1963, pag. 7.

[3] — J. F. Swindells e col. — Obra citada, pag. 11 e 16.

[4] — Idem, idem, pag. 13, 14 e 15.

[5] — Alex. Findlay — Ob. cit. pag. 13.

[6] — «Handbook of Chemistry and Physics» — Chemical Rubber Publishing Co. — Cleveland, Ohio.

(Continuação da pág. 27)

O objectivo destas Jornadas é organizar uma reunião entre as pessoas interessadas na engenharia da Soldadura para que possam trocar-se conhecimentos e experiências, deixando-se aos Conferencistas liberdade para a selecção do tema e tratamento do mesmo.

O programa provisório estabelecido inclui as seguintes sessões:

Dia 12 Manhã — Sessão de Abertura
— Lição por convidado especial
Tarde — Colóquio: «Construção Soldada nos anos 80»
Dia 13 Manhã — Sessão 1: Fabricação e Tecnologia da Soldadura»
Tarde — Sessão 2: «Materiais e Metalurgia da Soldadura»
Dia 14 Manhã — Sessão 3: «Concepção e Cálculo de Construções Soldadas»
Tarde — Sessão 4: «Controle e Garantia da qualidade em Construção Soldada».

Apresentação de trabalhos

As comunicações terão tema livre e o Comité de Selecção determinará qual a sessão em que deverão ser apresentadas. Não devendo ultrapassar as 25 páginas dactilografadas a espaço e meio deverão depois ser expostas num período de 20 a 30 minutos seguido de debate.

O original e uma cópia de cada trabalho deverão ser enviados até 30 de Novembro de 1979 para o Departamento de Investigação e Desenvolvimento do Instituto de Soldadura.

EXPOSIÇÃO

Como complemento às «IV Jornadas da Engenharia da Soldadura» será organizada uma exposição de materiais, equipamentos e actividades realtivos à soldadura e à construção soldada. Os stands da exposição estarão agrupados em cinco blocos. Existem três tipos de stands, do tipo I nos blocos A, B, D e E com 16 m^2 e três frentes, do tipo II também nos blocos A, B, D e E com 8 m^2 e três frentes e do tipo III no bloco C com 6 m^2 e uma frente. Todos os stands disporão de energia eléctrica em tomadas de 10 A.

Participação na Exposição e patrocínio das Jornadas

Dispondo-se de um espaço reduzido a participação nesta exposição está limitada às empresas ou entidades que garantam o seu patrocínio à organização das Jornadas.

As entidades Patrocinadoras terão direito a um stand do tipo I.

As entidades Co-Patrocinadoras terão direito a um stand do tipo II.

As entidades Colaboradoras terão direito a um stand do tipo III.

A inscrição para as empresas que desejem um stand deverá ser efectuada até 31 de Outubro. A Construção e decoração dos stands será por conta das firmas participantes, mas o Instituto de Soldadura dará o seu apoio nesta matéria se tal lhe for solicitado aquando da inscrição. Os esboços ou maquetes dos stands deverão ser apresentados ao Comité de Organização até 30 de Novembro.

Além do direito de participar na exposição, o patrocínio das Jornadas dá ainda às entidades Patrocinadoras, Co-Patrocinadoras e Colaboradoras o direito de figurarem como tal em toda a documentação emitida e de terem ingressos gratuitos respectivamente para 10, 5 e 3 participantes.

JANTAR ANUAL

Esta iniciativa, que esperamos poder repetir anualmente, destina-se a reunir em confraternização informal todos os que se interessam pela actividade da soldadura e da construção soldada e terá lugar num hotel de Lisboa no último dia das Jornadas. Os autores de comunicações têm admissão gratuita.

CURSO SOBRE TÉCNICAS DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA APLICADAS AO PLANEAMENTO REGIONAL E URBANO

PORTO, Janeiro 1980

Em colaboração com o Curso de Planeamento Regional e Urbano (CPRU) e o Centro de Sistemas Urbanos e Regionais (CESUR), da Universidade Técnica de Lisboa, vai ser promovido no próximo **mês de Janeiro de 1980**, na cidade do Porto, um **curso sobre técnicas de computação gráfica aplicadas ao Planeamento Regional e Urbano.**

O curso será principalmente ministrado em língua inglesa, sendo orientado pelo Prof. Ray Masters do Rensselaer Polytechnic Institute de Nova Iorque, e tendo ainda a participação de elementos do CPRU e do CESUR.

CALENDÁRIO E PROGRAMA

1. O curso terá lugar de 7 a 11 de Janeiro de 1980.

2. Haverá duas sessões diárias, uma de manhã e outra de tarde, com um periodo de exposição de cerca de uma hora e meia, seguido de discussão e realização de exercícios práticos. No último dia, deverão desenvolver-se com maior profundidade alguns dos métodos apresentados.

3. Será distribuido aos participantes um texto de apoio, com o desenvolvimento das matérias a tratar.

4. Os sumários previstos para as diversas sessões são os seguintes:

1.º DIA

Sessão 1 — Introdução e descrição geral do conteúdo do seminário.
— Apresentação das técnicas e programas mais utilizados em computadores.
— Tipos de computadores e suas principais unidades constituintes.
— Considerandos sobre as principais diferenças e vantagens dos elementos referidos.

Sessão 2 — Apresentação e análise dos processos de input; métodos de digitalização, «scanners», etc.
— Análise de sistemas de coordenadas, vantagens relativas de cada um; considerações sobre a sua computação e transformação.
— Apresentação das técnicas de detecção remota e das suas aplicações no presente e no futuro.

2.º DIA

Sessão 3 — Técnicas de codificação por polígonos e quadriculas.
— Análise geométrica de polígonos; definicão; manipulação; transformações gerais a duas e três dimensões; fecho; rotação; projecção, etc.
— Ajustamento de polígonos e de origens de coordenadas.

Sessão 4 — Teoria dos polígonos, teste de pontos, operações de sobreposição de polígonos (overlays).
— Processos de mapificação; estudo de casos particulares (thiessen polygons, proximal mapping, etc.).
— Isolinhas — cálculo, geração e traçado.

3.º DIA

Sessão 5 — Técnicas de interpolação e extrapolação.
— Técnicas de ajustamento e montagem de unidades espaciais.
— Técnicas de estatística aplicada; indices de mapas e análise de erros.

Sessão 6 — Técnicas de mapificação por quadrícula.
— Representações por quadrícula e sistemas de escolha de símbolos gráficos. Considerações sobre a sua utilização pelos diversos sectores.
— Técnicas de mapificação a três dimensões.
— Problema da remoção de valores não visíveis na representação tri-dimensional.
— Técnicas de output — técnicas de «windowing», «clipping» e operações de edição.

4.º DIA

Sessão 7 — Bases de dados para o Planeamento Urbano e Regional.
— Sua aplicação ao Planeamento Urbano e Regional.
— Sistemas de gestão da informação.
— Controle de infra-estruturas — gestão e planeamento.

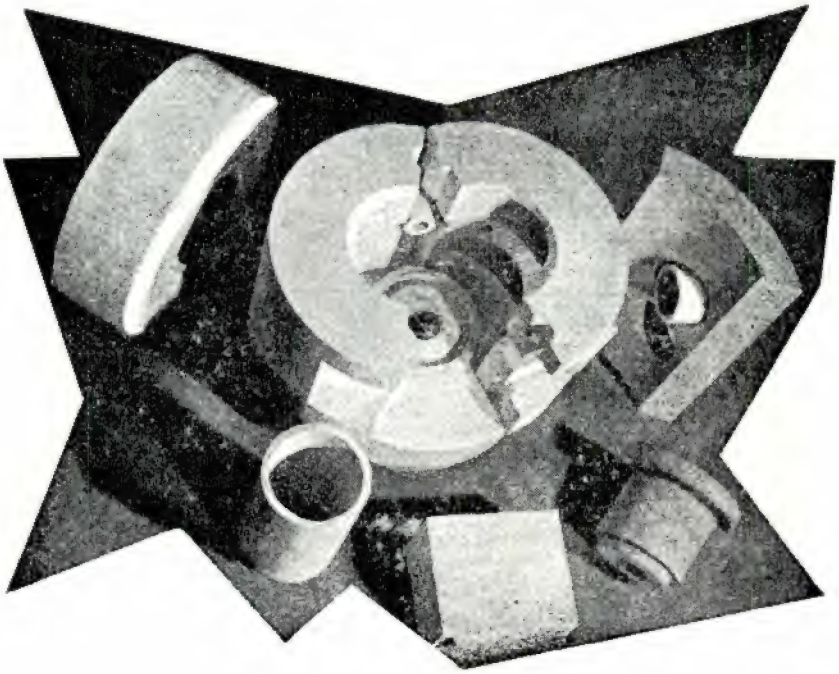
Sessão 8 — Análise do uso do solo — modelos e técnicas para o planeamento.
— Técnicas para a aplicação de programas para casos específicos.
— Apresentação de projectos importantes e de investigações com resultados significativos nesta área.

5.º DIA

Sessão 9 — Técnicas avançadas para implementação.
— Algumas considerações sobre «hardware» e «software».
— Técnicas de programação e exemplos.
— Sugestões e análise de problemas de implementação.

a técnica moderna emprega

BETÕES REFRACTÁRIOS



à base dos cimentos

FONDU LAFARGE

e

SECAR 250

porque são

práticos
eficientes
económicos

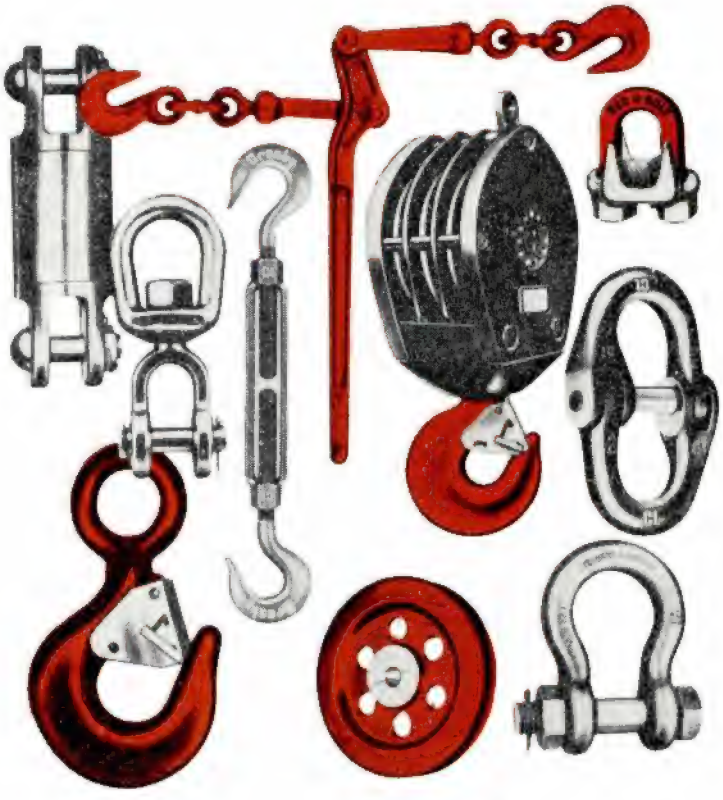
REFRACTÁRIOS ATÉ 1800° C

REFRACTÁRIOS ISOLANTES ATÉ 1700° C

Os nossos serviços técnicos, especializados, estão à vossa inteira disposição para estudar, sem qualquer encargo da vossa parte, a adaptação dos BETÕES REFRACTÁRIOS a todos os vossos problemas

AGUIAR & MELLO L.DA

P. do Município, 13-1.º — LISBOA — Tel. 32 11 51/2



ACESSÓRIOS FORJADOS PARA CABO DE ARAME E CADEIAS

Os homens que dão valor às suas vidas e a cargas insistem nos grampos, algemas, rótulas, tensores, olhais, fichas, mangas, parafusos para olhais e retentores de cargas Lebus da Crosby . . . todos fabricados de aço reformado e temperado para maior resistência. Uma gama completa de talhas McKissick e Western e protectores para cabos de arame.

Para obter o catálogo ou mais informações, queira contactar:

the Crosby group

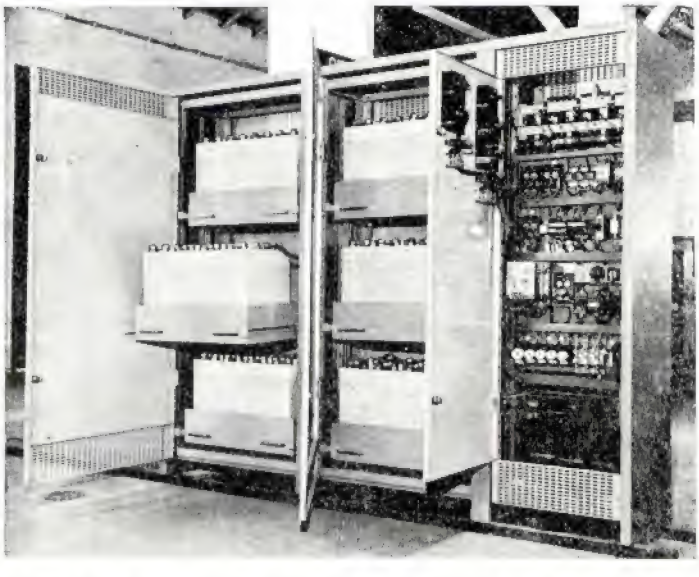
amhoist AMERICAN HOIST INTERNATIONAL CORPORATION

Crosby LAUGHLIN (UK) LTD
Carlton Chambers,
Station Road, Shortlands,
Bromley BR2 0EY, England.
Telex 896558CLUK

N.V. Crosby EUROPE
Leuvensebaan 51
2870 Putte (Mechelen)
Belgium
Telex 25312

TUDOR

Alimentadores de C.C. para Serviço Estacionário



A TUDOR projecta e fabrica alimentadores e carregadores de bateriais para todos os fins obedecendo às mais exigentes especificações.

Características Eléctricas

Carregador Principal

- Tensão de alimentação . . 3 x 380 V ± 10% 50 Hz ± 5%
- Potência Nominal . . . . .3x3 KW
- Funcionamento . . . . . .Regime flutuante estabilizado

Carregador Adicional

- Potência Nominal . . . . .0,3 KW
- Funcionamento . . . . . .Regime Tampão

Bateria

- Alcalina de Cádmio Níquel

BLOCO para alimentação de permanência e Socorro dos equipamentos de Protecção e Comando dos Serviços Auxiliares das subestações.
Fabricado para a EDP e E.P.

SOCIEDADE PORTUGUESA DO ACUMULADOR TUDOR, SARL. R. Actor Tasso 1 — Tel. 56 21 12

técnica

REVISTA DE ENGENHARIA DA ASSOCIAÇÃO DOS ESTUDANTES DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

ÍNDICE POR ASSUNTOS DOS ARTIGOS PUBLICADOS

NÚMERO 449 A 452 VOLUME XL SETEMBRO DE 1978 A MARÇO DE 1979

Artigo N.º Data Pág.

31 — ESTATÍSTICA

311 — CIÊNCIA ESTATÍSTICA. TEORIA E MÉTODOS ESTATÍSTICOS

C. D. U. 311.15:535.33

Alguns aspectos da correlação de 3.ª ordem e do bispectro dos processos estacionários 449-450 9-10/978 45
F. E. Rebelo Simões

33 — ECONOMIA POLÍTICA. ECONOMIA

338 — PRODUÇÃO. CRIAÇÃO DE RIQUEZA

C. D. U. 338.5:622:519.28

Dynamic programming and its application to cut-off grade problems 451-452 1-2-3/979 321
Peter Dowd

C. D. U. 338.5:519.28:622

Avaliação económica de projectos mineiros por simulação 451-452 1-2-3/979 235
Heitor Simões Santos

51 — MATEMÁTICA

C. D. U. 51.951

Conjuntos graduados de Zadeh 449-450 9-10/978 11
António Aniceto Monteiro

519 — ANÁLISE COMBINATÓRIA E ESTATÍSTICA. CÁLCULO DAS PROBABILIDADES, ETC.

C. D. U. 519.24/25/27/28:622:550

Uma nova parametrização de jazidas minerais ... 451-452 1-2-3/979 151

C. D. U. 519.24/25/28:622.1:550

Representatividade da amostragem de jazidas minerais 451-452 1-2-3/979 203
José Quintino Rogado

C. D. U. 519.24/25/27/28:622.1:550

Introdução às variáveis regionalizadas 451-452 1-2-3/979 89
Henrique Garcia Pereira

C. D. U. 519.24/25/27/28:622:550

Le parametrage des reserves 451-452 1-2-3/979 315
D. Guibal

C. D. U. 519.25/27/28:622

Prática de Krigagem 451-452 1-2-3/979 139
Fernando Humberto Muge

C. D. U. 519.25/27/28:622.1

Introdução à estimação geoestatística 451-452 1-2-3/979 97
Leopoldo Parreira Cortez

C. D. U. 519.28:622:338.5

Avaliação económica de projectos mineiros por simulação 451-452 1-2-3/979 235
Heitor Simões Santos

C. D. U. 519.28:622.2

Programação de desmontes em lavra subterrânea 451-452 1-2-3/979 271
J. Beja Costa e *Jorge Valente*

C. D. U. 519.28:622

The conditional simulation of regionalized variables 451-452 1-2-3/979 225
Peter Dowd

C. D. U. 519.28:338.5:622

Dynamic programming and its application to cut-off grade problems 451-452 1-2-3/979 321
Peter Down

C. D. U. 519.28:622

Teoria e prática de amostragem de materiais a granel segundo o formalismo de P. Gy 451-452 1-2-3/979 157
João Carvalho Marques

C. D. U. 519.28:622.1/2/7:550.4/7:553

Introdução à simulação ... 451-452 1-2-3/979 209
Henrique Garcia Pereira

C. D. U. 519.28:622.271

Determinação do contorno final dum desmonte a céu aberto («Ultimate Pit») 451-452 1-2-3/979 261
Fernando Humberto Muge

53 — FÍSICA E MECÂNICA

530.1 — PRINCÍPIOS GERAIS DA FÍSICA

C. D. U. 530.12:533.2

Sobre a elasticidade relativista dos corpos rígidos: a lei de Hooke relativista 449-450 9-10/978 73
António Brotas

Artigo N.º Data Pág.

533 — GASES. PNEUMÁTICA. AERODINÂMICA

C. D. U. 533.2:570.12

Sobre a elasticidade relativista dos corpos rígidos: a lei de Hooke relativista 449-450 9-10/978 73
António Brotas

535 — ÓPTICA. LUZ

C. D. U. 535.33:311.15

Alguns aspectos de correlação de 3.ª ordem e do bispectro dos processos estacionários 449-450 9-10/978 45
F. E. Rebelo Simões

538 — MAGNETISMO. ELECTROMAGNETISMO

C. D. U. 538.3

Sobre o estabelecimento das condições fronteiras de natureza electrodinâmica numa superfície em movimento 449-450 9-10/978 35
M. Abreu Faro

55 — GEOLOGIA E CIÊNCIAS AFINS. METEOROLOGIA

550 — CIÊNCIAS AFINS. GEOFÍSICA

C. D. U. 550:519.24/25/27/28:622

Le parametrage des reserves 451-452 1-2-3/979 315
D. Guibal

C. D. U. 550:519.24/25/27/28:622

Uma nova parametrização de jazidas minerais ... 451-452 1-2-3/979 151
José Quintino Rogado

C. D. U. 550:519.24/25/28:622.1

Representatividade da amostragem de jazidas minerais 451-452 1-2-3/979 203
José Quintino Rogado

C. D. U. 550:519.24/25/27/28:622.1

Introdução às variáveis regionalizadas 451-452 1-2-3/979 89
Henrique Garcia Pereira

C. D. U. 550.4/7:553:519.28:622.1/2/7

Introdução à simulação ... 451-452 1 2-3/979 209
Henrique Garcia Pereira

553 — GEOLOGIA E MINERALOGIA ECONÓMICAS

C. D. U. 553:519.28:622.1/2/7:550.4/7

Introdução à simulação ... 451-452 1-2-3/979 209
Henrique Garcia Pereira

62 — ENGENHARIA E TECNOLOGIA EM GERAL

622 — EXPLORAÇÃO DE MINAS E TRATAMENTO DE MINÉRIOS

C. D. U. 622:519.28:338.5

Dynamic programming and its application to cut-off grade problems 451-452 1-2-3/979 321
Peter Dowd

Artigo N.º Data Pág.

C. D. U. 622:519.25/27/28

Prática de Krigagem 451-452 1-2-3/979 139
Fernando Humberto Muge

C. D. U. 622:519.28

Teoria e prática de amostragem de materiais a granel segundo o formalismo de P. Gy 451-452 1-2-3/979 157
João Carvalho Marques

C. D. U. 622:550:519.24/25/27/28

Uma nova parametrização de jazidas minerais ... 451-452 1-2-3/979 151
José Quintino Rogado

C. D. U. 622:550:519.24/25/27/28

Le parametrage des reserves 451-452 1-2-3/979 315
D. Guibal

C. D. U. 622:519.28

The conditional simulation of regionalized variables 451-452 1-2-3/979 225
Peter Dowd

C. D. U. 622:338.5:519.28

Avaliação económica de projectos mineiros por simulação 451-452 1-2-3/979 235
Heitor Simões Santos

C. D. U. 622.1:550:519.24/25/28

Representatividade da amostragem de jazidas minerais 451-452 1-2-3/979 203
José Quintino Rogado

C. D. U. 622.1:519.25/27/28

Introdução à estimação geoestatística 451-452 1-2-3/979 97
Leopoldo Parreira Cortez

C. D. U. 622.1:550:519.24/25/27/28

Introdução às variáveis regionalizadas 451-452 1-2-3/979 89
Henrique Garcia Pereira

C. D. U. 622.1/2/7:550.4/7:553:519.28

Introdução à simulação ... 451-452 1-2-3/979 209
Henrique Garcia Pereira

C. D. U. 622.2:519.28

Programação de desmontes em lavra subterrânea ... 451-452 1-2-3/979 271
Jorge Valente e *J. Beja Costa*

C. D. U. 622.271:519.28

Determinação do contorno final dum desmonte a céu aberto («Ultimate Pit») 451-452 1-2-3/979 261
Fernando Humberto Muge

C. D. U. 622.73/765

Process analysis and simulation in extractive metallurgy by stochastic and deterministic methods 451-452 1-2-3/979 293
Alex Oblad

Resumo dos Artigos publicados na «Técnica» n.º 453

Ano LIV — Outubro 1979

GONÇALVES, Fernando Alberto — *Normas de segurança para laboratórios de química*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 1-11.

As diferentes operações realizadas nos laboratórios de química envolvem sempre riscos, maiores ou menores, de acidente.

As presentes «Normas de Segurança» na sua quase totalidade não são mais do que regras aconselhadas pelo bom senso; mas mesmo assim pareceu de utilidade publicá-las, principalmente por não haver em português trabalho deste género.

Um grande número de acidentes são devidos a faltas lamentavelmenet verificadas com frequência. Entre elas salienta-se: a) Trabalho apressado; b) Vários trabalhos efectuados simultaneamente; c) Operações efectuadas em mesas já atulhadas de material; d) Podem ainda incluir-se as complicações resultantes do não tratamento de pequenas feridas, queimaduras, etc.

A estes acidentes por vezes um tanto aparatosos há que juntar outros menos espectaculares mas mais insidiosos como sejam os envenenamentos provocados por via cutânea, pulmonar ou digestiva, que muitas vezes só se manifestam tardiamente, quando o organismo já se encontra bastante atacado.

ABECASSIS, Fernando — *Portugal 77 — Economia da Revolução*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 13-24.

Este trabalho analisa qualitativamente os mecanismos de formação da crise económica portuguesa, que se desenhou com toda a clareza no ano de 1977, através da interpretação e ligação do conjunto de comportamentos anómalos que a mutação rápida do sistema desencadeou, e que se pode descrever como uma alteração profunda na distribuição interna dos rendimentos, grosso modo conseguida à custa do salto salarial e suas incidências, acompanhada de uma ruptura nos mecanismos de acumulação, isto é, investimentos, provocada por uma forte despoupança no sistema quer a nível empresarial através da erosão das reservas e, ou, lucros, quer a nível do aparelho central.

KARADE, T. M. e BORIKAR, S. M. — *Termodinâmica de sistemas em movimento*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 25-27.

A lei de correspondência para medidas de temperatura de sistemas em movimento que é sugerida no artigo conduz a um significado físico satisfatório da transformação de Lorentz para grandezas termodinâmicas.

ALMEIDA, A. Betâmio de — *No centenário da publicação da fórmula de Michaud*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 29-32.

No centenário do artigo de Michaud (1878-1978) procede-se a uma revisão do respectivo conteúdo e examina-se a validade e actualidade da fórmula apresentada no referido artigo para a análise do golpe de ariete.

FARO, Manuel José Abreu e TEIXEIRA, Pedro Luís Borges — *Concepção e projecto de sistemas de telecomunicações no País*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 33-42.

COSTA, J. M. Madeira — *Betão normal reforçado com armadura metálica*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 43-50.

TAVARES, L. Valadares — *A virtude está nos extremos?*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 51-53.

GONÇALVES, Fernando Alberto — *Sobre a determinação de raios de capilares de vidro*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 55-56.

Synopsis of articles published in «Técnica» n.os 453

LIV — Ouctober 1979

FARO, Manuel José Abreu e **TEIXEIRA, Pedro Luís Borges** — *Conception and plan of telecommunication systems in Portugal*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 33-42.

COSTA, J. M. Madeira — *Normal concrete reinforced with steel*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 43-50.

TAVARES, L. Valadares — *Is the virtude in the extremes?*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 51-53.

GONÇALVES, Fernando Alberto — *On the determination of the radius of glass capilares*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 55-56.

GONÇALVES, Fernando Alberto — *Safety rules in quimical laboratories*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 1-11.

The different operations executed in the laboratories of chemistry alloways involve, more or less, risks of accident.

The present «Safety Rules», in most part, are not more than principles dictated by common sense; nevertheless it seemed convenient to us to publish them owing the lack of similar works written in portuguese.

A great number of accidents are caused by faulty failures, deplorably very often commited. Among them we emphasize: a) Hurried work; b) Several tasks executed simultaneously; c) Operations effected on desks already overfilled with objects; d) To this we may join the complications resultant from lack of care on small cuts, wounds, burns, etc.

To these accidents, sometimes more or lesse triking, we may join others, less spectacular but more insidious, like poisomings through the skin, lung, stomach or intestines, which very often only late show visible signs, when organisms are already strongly affected.

ABECASSIS, Fernando — *Portugal 77 — Economics of the Revolution*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 13-24.

The scope of this essay is to make a qualitative analysis of the Portuguese economic crisis, which has developed to its full dimension during the year of 1977, by interpreting and interlinking the mechanisms of abnormal behaviours the deep changes in the economic system have brought about, and which may be described as a shift in the income distribution pattern caused by a sudden and large wage increase and its incidence, together with a fall in the system's investment performance due to the decrease in its savings capacity, both at the firm's level through the eresion in their margins and expected profits, and at the central government level.

KARADE, T. M. e **BORIKAR, S. M.** — *Thermodynamics of Moving Systems*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 25-27.

The rule of correspondence for the measurement of temperature of moving systems suggested below also provides a satisfactory physical meaning to the Lorentz transformation of thermodynamic quantities.

ALMEIDA, A. Betâmio de — *One century after Michaud's formula*, «Técnica», Lisboa, LIV (453) Out. 1979, p. 29-32.

An hundred years after Michaud's paper publication (1878-1978), a review of its content is made as well as an analysis about the validity of the well known formula, then presented, for waterhammer calculations.

ERRATA

TÉCNICA 448

ESCOAMENTO COM SUPERFÍCIE LIVRE EM CANAIS DE SECÇÃO CIRCULAR

A. BETÂMIO DE ALMEIDA

ONDE SE LÊ	DEVE LER-SE
pág. 498 — 1.ª coluna — 15.ª linha — expressão (6) $\ldots (2\,\theta^{4/3}) \ldots$	$\ldots (2\,\theta)^{4/3} \ldots$
pág. 498 — 2.ª coluna — 20.ª linha $\ldots S\,R_H^{2/3} = \dfrac{W\,R^{8/3}}{\sqrt{J}} \times 2^{4/3} \ldots$	$\ldots S\,R_H^{2/3} = \dfrac{W\,R^{8/3}}{\sqrt{J}} \ldots$

PELO LAPSO PEDIMOS DESCULPA AO AUTOR E AOS LEITORES.

ERRATA

TECNICA 448

ESCOAMENTO COM SUPERFICIE LIVRE EM CANAIS DE SECÇÃO CIRCULAR

A. SOTANO DE ALBERGA

pag. 193 — 1.ª coluna — 10.ª linha — expressão (7)	DEVE LER-SE
$\ldots (2\,0)^{\frac{1}{2}} \ldots$	$\ldots (2\,c)^{\frac{1}{2}} \ldots$
pag. 198 — 2.ª coluna — 20.ª linha	
$\ldots 6\,R^{\frac{1}{2}} = \frac{W\,K^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{J}} \times 2^{\frac{1}{2}} \ldots$	$\ldots 8\,R^{\frac{1}{2}} = \frac{W\,K^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{J}} \ldots$

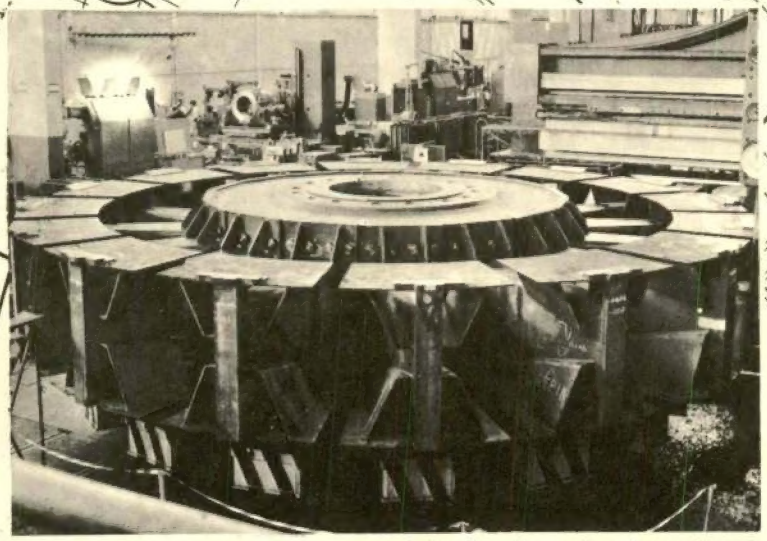
PELO LAPSO HEDIONDO DESCULPA AO AUTOR E AOS LEITORES

BIBLIOTECA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA LISBOA

OFERTA

PRIMEIRO ALTERNADOR MOTOR FABRICADO EM PORTUGAL

AGUIEIRA



Rotor alternador em fase de maquinagem

Destinado à Central Hidroeléctrica da Aguieira e sob licença da Alsthom-Atlantique a Sorefame fabrica o primeiro Alternador Motor tendo como principais caracteristicas:

Potencia	100 MVA
Velocidade de rotação	125 r. p. m.
Tensão nominal	12 000 volts
Diâmetro exterior	11,5 m
Diâmetro da parte girante	9,5 m
Peso do rotor	225 toneladas
Peso total	420 toneladas

SOREFAME

SOCIEDADES REUNIDAS DE FABRICAÇÕES METÁLICAS, S.A R L.
Amadora – Portugal

Edições da Técnica

TABELA DE PREÇOS

TABELAS PARA O CÁLCULO DO BETÃO ARMADO

Brazão Farinha, 6.ª edição — 1970 . . . 600$00

TOPOGRAFIA GERAL

C. Xerez — 1.º vol. 3.ª edição — 1978 . . 460$00
C. Xerez — 2.º vol. 2.ª edição — 1966 . . (*)

TABELAS TÉCNICAS

Vicente Ferreira e Brazão Farinha, 8.ª edição 1977 700$00

MANUAL DE HIDRÁULICA GERAL

A. Lencastre, 2.ª edição — 1969 . . . . 580$00

DICIONÁRIO DE UNIDADES E TABELAS DE CONVERSÃO

Vasco Costa e Osvaldo Francês, 1.ª edição — 1959 (*)

NÚMEROS E VARIÁVEIS COMPLEXAS

A. H. Simões de Abreu, 1.ª edição — 1977 . 400$00

GUIA DE ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS

A. Herculano de Carvalho, 1.ª edição — 1961 200$00

CÁLCULO DE PÓRTICOS

G. Kani — Trad. da 7.ª edição alemã — 1962 150$00

MANUAL DE ESTRUTURAS

Brazão Farinha — 1.º vol. 1.ª edição — 1976 750$00

2.º e 3.º Volumes . . . . . (*)

BETÃO PREESFORÇADO

(A cargo dos participantes na Semana de Betão Preesforçado — I. S. T. — 1975) . . 550$00

HIDRÁULICA GERAL

I — FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A. Manzanares, 1.ª edição — 1979 . . . . 675$00

PROPAGAÇÃO E RADIAÇÃO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

I — ONDAS E MEIOS MATERIAIS . . . . 560$00

II — RADIAÇÃO . . . . . (*)

M. de Abreu Faro

Monografia n.º 1

CAUDAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS HIDRÁULICAS E AMORTECIMENTO DE CHEIAS EM ALBUFEIRAS

António Carvalho Quintela e António Betâmio de Almeida, 1.ª edição — 1975 . . . 7$50

Monografia n.º 2

ESCOAMENTO COM SUPERFÍCIE LIVRE EM CANAIS DE SECÇÃO CIRCULAR

António Betâmio de Almeida, 1.ª ed. — 1978 30$00

(*) LIVROS A PUBLICAR BREVEMENTE

Desconto de 10% aos assinantes

PEDIDOS À técnica